

TUGAS AKHIR - MN091382

**PERANCANGAN KAPAL PENYEBERANGAN FERRY
RO-RO SEBAGAI FASILITAS PENGANGKUT KERETA API
ROUTE JAWA-SUMATERA**

SETYO ADI NUGROHO
NRP. 4107 100 024

Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc.

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2014

FINAL PROJECT - MN091382

**DESIGN OF FERRY RO-RO SHIP AS FACILITIES TO
CARRIER TRAIN WITH ROUTE JAVA-SUMATRA**

SETYO ADI NUGROHO
NRP. 4107 100 024

Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc.

DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE & SHIPBUILDING ENGINEERING
Faculty of Marine Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2014

LEMBAR PENGESAHAN
PERANCANGAN KAPAL PENYEBERANGAN FERRY RO-RO
SEBAGAI FASILITAS PENGANGKUT KERETA API RUTE
JAWA-SUMATERA

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Perancangan Kapal
Program S1 Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

SETYO ADI NUGROHO
NRP. 4107 100 024

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing :



Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc.
NIP. 19681212 199402 2 001

SURABAYA, JULI 2014

LEMBAR REVISI

PERANCANGAN KAPAL PENYEBERANGAN FERRY RO-RO SEBAGAI FASILITAS PENGANGKUT KERETA API RUTE JAWA-SUMATERA

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal Juli 2014

Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Perancangan Kapal
Program S1 Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

SETYO ADI NUGROHO
NRP. 4107 100 024

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Prof.Ir. Djauhar Manfaat, MSc., Ph.D.

2. Ir. IGM Santosa

3. Ir. P.Andrianto

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc.



SURABAYA, JULI 2014

PERANCANGAN KAPAL PENYEBERANGAN FERRY RO-RO SEBAGAI FASILITAS PENGANGKUT KERETA API RUTE JAWA- SUMATERA

Nama Mahasiswa : Setyo Adi Nugroho
NRP : 4107 100 024
Jurusan / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc.

ABSTRAK

Tidak adanya akses jalur kereta api yang menghubungkan Pulau Jawa-Sumatera membuat sebagian masyarakat lebih memilih sarana transportasi lain seperti bus, mobil, sepeda motor, dan angkutan umum lainnya. Untuk mendukung sarana transportasi kereta api tersebut, maka dibutuhkan sebuah desain kapal Ferry Ro-Ro yang secara khusus dapat mengangkut kereta api. Data yang dibutuhkan berupa ukuran lokomotif dan gerbong, ukuran rel, dan jarak antar pulau. Dari data tersebut dibuat desain awal. Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah mencari ukuran kapal yang optimum, serta memiliki biaya yang minimum. Ukuran utama kapal optimal yang didapatkan adalah, $L_{pp} = 100.12$ m, $B_m = 29.3$ m, $H = 7.33$ m, $T = 5.25$ m, dengan biaya pembangunan sebesar \$ 17,656,797.44. Dari data kapal tersebut kemudian dibuat Lines Plan, General Arrangement, serta Safety Plan.

DESIGN OF FERRY RO-RO SHIP AS FACILITIES TO CARRIER TRAIN WITH ROUTE JAVA-SUMATRA

Author : Setyo Adi Nugroho
ID No. : 4107 100 024
Department / Faculty : Naval Architecture Shipbuilding Engineering / Marine Technology
Supervisors : Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc.

ABSTRACT

The unavailable of train line access between Java - Sumatra, makes people choose another transportation such as bus, car, motor cycle, etc. To support the train line transportation, it will need a design of ferry with purpose to carry a train. The required data are dimension of train within Railway and distance of each inhabited island. From this data, we can make the preliminary ship design. Purpose of this final project is to find the optimal size of the ship with the size of superstructure is already determined. Size of the ship must meet some certain restrictions like Archimedes law, trim, stability, freeboard, tonnage, and cheapest valuable. The ship's optimal main dimensions are, $L = 100.12$ m, $B = 29.3$ m, $H = 7.33$ m, $T = 5.25$ m with the production cost is \$ 17,656,797.44. From the ship's main dimensions, furthermore, lines plan, general arrangement, and safety plan can be made.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas limpahan karunia serta hidayahNya Tugas Akhir yang berjudul **“Perancangan Kapal Penyeberangan Ferry Ro-Ro Sebagai Fasilitas Pengangkut Kereta Api Rute Jawa-Sumatera”** ini dapat diselesaikan dengan baik.

Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
2. Bapak, Ibu, serta Karyawan di PT. KAI Daerah Operasi VII Surabaya yang telah memberikan bantuan data Tugas Akhir;
3. Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc, Ph.D. Ir. I Gede Made Santosa, Ir. Paulus Andrianto Sutirto. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan sarannya untuk perbaikan Laporan Tugas Akhir ini;
4. Papa dan Mama, dua orang terhebat dalam hidup penulis, atas kasih sayang, doa-doa, dan segala pelajaran hidup serta bimbingannya sampai saat ini;
5. Serta, Teman-teman Teknik Perkapalan FTK-ITS, khususnya angkatan 2007, atas segala kenangan-kenangan selama penulis ada diantara kalian;

Penulis sadar bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata, besar harapan penulis bahwa Tugas Akhir ini dapat memberikan informasi dan manfaat sebanyak-banyaknya bagi pembaca sekalian.

Surabaya, 14 Juli 2014

Penulis,

Setyo Adi Nugroho

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
TITLE PAGE	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR REVISI	iv
HALAMAN PERUNTUKAN	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR SIMBOL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Perumusan Masalah	1
I.3. Maksud dan Tujuan	2
I.4. Manfaat	2
I.5. Batasan Masalah	2
I.6. Hipotesis	3
I.7. Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
II.1. Gambaran Umum	7
II.2. Penggolongan Tipe Kapal Ferry	7
II.2.1. Kapal Ferry dengan Pemuatan dari Ujung-Ujung (<i>End Loading</i>)	7
II.2.2. Kapal Ferry dengan Pemuatan di samping (<i>Side Loading</i>)	8
II.3. Train Ferry/Ferry Kereta	9
II.4. Pendekatan Desain	10
II.4.1. Concept Design	11
II.4.2. Preliminary Design	11
II.4.3. Contract Design	12
II.4.4. Detail design	12
II.5. Perancangan Kapal dengan Metode Optimasi	13
II.5.1. Pemahaman Optimasi	13
II.5.2. Klasifikasi Permasalahan Optimasi	15
II.6. Tinjauan Teknis Perancangan Kapal	16
II.6.1. Ukuran Utama Awal Kapal	16
II.6.2. Dasar Perhitungan Hambatan	17
II.6.3. Dasar Perhitungan Motor Induk	17
II.6.4. Dasar Perhitungan Berat kapal	17
II.6.5. Dasar Perhitungan Batasan	18
II.6.6. Dasar Perhitungan Biaya Pembangunan Kapal	20
BAB III TINJAUAN DAERAH PENELITIAN	22
III.1. Gambaran Umum	22

III.2. Pelabuhan.....	23
III.3. Sejarah Jalur Kereta Api di Pulau Jawa dan Sumatera.....	25
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN.....	29
IV.1. Langkah-langkah Pengerjaan Tugas Akhir.....	29
1.Studi Literatur.....	29
2.Pengumpulan Data.....	29
3.Penentuan Parameter, Variabel, dan Batasan.....	30
4.Perhitungan Teknis Perancangan Kapal.....	31
5.Pembuatan Rencana Garis.....	31
6.Pembuatan Rencana Umum.....	31
7.Kesimpulan dan Saran.....	32
IV.2. Model Penelitian.....	33
BAB V ANALISIS TEKNIS DAN PEMBAHASAN.....	35
V.1. Survey Lapangan.....	35
V.2. Desain Awal.....	36
V.3. Perhitungan Awal.....	37
V.3.1. Froude Number (F_n).....	37
V.3.2. Koefisien <i>Block</i> (C_b).....	38
V.3.3. Koefisien <i>Midship</i> (C_m).....	38
V.3.4. Koefisien Prismatic (C_p).....	38
V.3.5. Koefisien <i>Waterplan</i> (C_{wp}).....	39
V.3.6. <i>Length Center of Buoyancy</i> (L_{cb}).....	39
V.3.7. DISPLACEMENT.....	40
V.4. Hambatan.....	40
V.4.1. Hambatan Gesek.....	40
V.4.2. Hambatan Gelombang.....	41
V.4.3. Hambatan Total.....	41
V.5. Machinery.....	41
V.6. Perhitungan Massa dan Titik Pusat Massa DWT.....	41
V.7. Crew dan Consummable.....	42
V.8. Titik Berat.....	43
V.9. Perhitungan Massa dan Titik Pusat Massa LWT.....	45
V.9.1. Berat baja Kapal.....	45
V.9.2. Berat Peralatan dan Perlengkapan.....	48
V.9.3. Total Berat (LWT).....	50
V.9.4. Titik Berat Baja.....	50
V.9.5. Titik Berat Equipment & Outfitting.....	50
V.9.6. Titik Berat Machinery.....	51
V.10. Titik Berat LWT+DWT.....	51
V.11. Stabilitas.....	52
V.12. Trim.....	53
V.13. Freeboard.....	53
V.13.1. Freeboard Standard.....	53
V.14. Tonase Kapal.....	54
V.15. Biaya.....	55
V.15.1. Structural Cost.....	55
V.15.2. Outfit Cost.....	56
V.15.3. Machinery Cost.....	56
V.15.4. Non Weight Cost.....	56

V.15.5.Total Cost	57
V.16. Batasan	57
V.16.1.Hukum Archimedes	57
V.16.2.Batasan Untuk Stabilitas.....	58
V.16.3.Batasan Untuk Freeboard	59
V.16.4.Batasan Trim	60
V.17. Optimasi	60
V.17.1.Langkah Proses Optimasi	60
V.17.2.Hasil Optimasi	64
V.18. Pembuatan LinesPlan	65
V.19. Pembuatan Rencana Umum	70
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	76
VI.1. Kesimpulan.....	76
VI.2. Saran.....	76
DAFTAR PUSTAKA	78
LAMPIRAN : DATA SURVEY	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Ferry dengan Pemuatan Ujung (Rolland Li, 2010)	8
Gambar II.2 Ferry dengan Pemuatan dari Samping (Rolland Li, 2010)	9
Gambar II.3 Kapal Ferry Pengangkut Kereta (Friedhelm Ernst, 2008)	10
Gambar II.4 Basic Design Spiral (Watson, 1998)	10
Gambar II.5 Keadaan kapal stabil	18
Gambar II.6 Keadaan kapal netral	19
Gambar II.7 Keadaan kapal labil	19
Gambar III.1 Selat Sunda (Wikipedia, 1999)	22
Gambar III.2 Lokasi Selat Sunda dari Peta Indonesia	23
Gambar III.3 Pemudik Bersepeda Motor di Pelabuhan Merak (wikipedia, 2014)	23
Gambar III.4 Kapal Ferry Di Pelabuhan Merak (wikipedia, 2014)	24
Gambar III.5 Kapal Ferry Di Pelabuhan Bakauheuni (wikipedia, 2014)	25
Gambar III.6 Stasiun pertama di Pulau Jawa (Van Ballegoijen de jong, 1993)	26
Gambar III.7 Peta Jalur Kereta Api di Jawa dan Sumatera (kemenhub, 2008)	27
Gambar IV.1 Diagram Metodologi Penelitian	33
Gambar V.1 Desain Awal	36
Gambar V.2 Grafik % LCB-CB	39
Gambar V.3 Tampilan Microsoft Excel 2007 dengan <i>Solver Add-In</i> terinstall	61
Gambar V.4 Tampilan setelah Target Cell dan nilai minimal ditentukan	62
Gambar V.5 Tampilan Solver Parameter setelah <i>changing cells</i> ditentukan	62
Gambar V.6 Tampilan Solver untuk input <i>constraint</i>	62
Gambar V.7 Tampilan Solver setelah <i>constraint</i> dalam model dimasukkan	63
Gambar V.8 Tampilan Solver Option	63
Gambar V.9 <i>Dialog box</i> ketika Solver menemukan kombinasi <i>variable</i> yang optimal	64
Gambar V.10 Tampilan <i>dialog box</i> ketika Solver tidak menghasilkan hasil yang optimal	64
Gambar V.11 Tampilan awal <i>maxsurf</i>	66
Gambar V.12 Tampilan <i>Open desain</i>	66
Gambar V.13 Menentukan Zero point pada <i>Maxsurf</i>	67
Gambar V.14 Tampilan <i>Frame of reference</i>	68
Gambar V.15 Tampilan tabel Hydrostatic	68

DAFTAR TABEL

Tabel V.1 Titik Berat Crew	44
Tabel V.2 Titik Berat Air Tawar	44
Tabel V.3 Perencanaan Tangki Lubrication Oil	44
Tabel V.4 Perencanaan Tangki Diesel Oil	45
Tabel V.5 Tabel Perencanaan Fuel Oil	45
Tabel V.6 Perencanaan Dimensi dan Berat deck House	47
Tabel V.7 Perencanaan Dimensi dan Berat Forecastle	47
Tabel V.8 Komponen Rel Kereta Api	48
Tabel V.9 Tabel Perencanaan Ruang Akomodasi	48
Tabel V.10 Perencanaan Miscellaneous	49
Tabel V.11 KG Baja	50
Tabel V.12 LCG Baja	50
Tabel V.13 Titik Berat equipment and Outfitting	51
Tabel V.14 Titik Berat Permesinan	51
Tabel V.15 Titik Berat Gabungan	51
Tabel V.16 Lengan Statis (Gz)	52
Tabel V.17 Lengan Dinamis	52
Tabel V.18 Hidrostatic Properties	53
Tabel V.19 Kondisi Trim Kapal	53
Tabel V.20 Freeboard Standard	53
Tabel V.21 Koreksi Freeboard-Tinggi	54
Tabel V.22 Koreksi Freeboard-Bangunan Atas	54
Tabel V.23 Gross Tonnage	55
Tabel V.24 Net Tonnage	55
Tabel V.25 Structural Cost	55
Tabel V.26 Outfit Cost	56
Tabel V.27 Machinery Cost	56
Tabel V.28 Total Biaya Kapal	57
Tabel V.29 Batasan Displacement	58
Tabel V.30 Batasan Stabilitas	58
Tabel V.31 Batasan Freeboard	59
Tabel V.32 Batasan Trim	60
Tabel V.33 Hasil Optimasi yang didapat dari Solver	65

DAFTAR SIMBOL

L	=	Panjang kapal (m)
Loa	=	Length overall (m)
Lpp	=	Length perpendicular (m)
Lwl	=	Length of waterline (m)
B	=	Lebar satu hull catamaran (m)
T	=	Sarat kapal (m)
H	=	Tinggi lambung kapal (m)
BT	=	Lebar keseluruhan kapal (m)
HT	=	Tinggi keseluruhan kapal (m)
S	=	Lebar demihull (m)
Vs	=	Kecepatan dinas kapal (knot)
Vmax	=	Kecepatan maksimal kapal (knot)
F _n	=	Froude number
R _n	=	Reynolds number
C _b	=	Koefisien blok
C _p	=	Koefisien prismatic
C _m	=	Koefisien midship
C _{wp}	=	Koefisien water plane
ρ	=	Massa jenis (kg/m ³)
g	=	Percepatan gravitasi (m/s ²)
Δ	=	Displacement kapal (ton)
V	=	Volume displacement (m ³)
LCB	=	Longitudinal center of bouyancy (m)
VCG	=	vertical center of gravity (m)
LCG	=	Longitudinal center of gravity (m)
LWT	=	Light weight tonnage (ton)
DWT	=	Dead weight tonnage (ton)
RT	=	Hambatan total kapal (N)
WSA	=	Luasan permukaan basah (m ²)
ν	=	Koefisien viskositas kinematik (m ² /s)

BAB I PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Jembatan Selat Sunda (JSS) adalah salah satu proyek besar pembuatan jembatan yang melintasi selat sunda sebagai penghubung antara Pulau Jawa dengan Pulau Sumatera. Menurut rencana Proyek JSS mencapai panjang keseluruhan 31 kilometer dengan lebar 60 meter dan mempunyai ketinggian maksimum 70 meter dari permukaan air, masing-masing sisi mempunyai 3 lajur untuk kendaraan roda empat dan lajur ganda untuk kereta api.

Pembangunan JSS yang dilakukan pemerintah untuk menghubungkan Pulau Jawa dengan Pulau Sumatera diperkirakan akan mengambil anggaran negara hingga Rp.200 triliun. Langkah ini bukanlah pilihan yang bijak karena dikhawatirkan akan memperlebar kesenjangan wilayah terutama di kawasan bagian timur Indonesia, Dan yang terburuk adalah apabila banyak daerah di kawasan timur semakin terdorong untuk memisahkan diri dari Indonesia.

Jika konektivitas Pulau Sumatra dan Pulau Jawa menjadi alasan utama jembatan itu dibangun, Solusi yang paling ideal adalah dengan mengembangkan kapal ferry generasi terbaru yang lebih *cost-effective*, Selain itu pembangunan kapal ferry juga lebih cepat disediakan. Sedangkan dari segi teknologi, Kapal ferry sudah banyak dikuasai galangan kapal nasional.

Salah satu hal pengembangan kapal ferry tersebut adalah dengan merancang sebuah kapal ferry yang dapat mengakomodasi kereta api dari Pulau Jawa dan Pulau Sumatera, Sehingga dengan harapan :

1. Penyebaran kepadatan lalu lintas kendaraan di darat dapat merata.
2. Masyarakat tidak perlu lagi berganti dari kereta api ke bus apabila ingin melanjutkan perjalanan antar Pulau Jawa-Sumatera.
3. Pengeluaran Anggaran Negara lebih hemat dibandingkan dengan Proyek Pembangunan JSS.

I.2. Perumusan Masalah

1. Bagaimana menentukan *Layout* awal Desain kapal?
2. Bagaimana menentukan ukuran utama kapal?
3. Bagaimana membuat Rencana Garis, Rencana Umum kapal dan Safety Plan?
4. Bagaimana menentukan biaya yang optimal dalam pembangunan kapal?

I.3. Maksud dan Tujuan

Maksud dari Tugas Akhir ini adalah membuat desain kapal penyeberangan Ferry Ro-Ro yang dapat mengangkut kereta api rute Merak-Bakauheuni.

Sedangkan tujuan dari Tugas Akhir ini sebagai berikut :

1. Menentukan *Layout* awal Desain kapal.
2. Menentukan ukuran utama kapal.
3. Membuat Rencana Garis, Rencana Umum kapal dan Safety Plan.
4. Menentukan biaya yang optimal dalam pembangunan kapal.

I.4. Manfaat

Dari Tugas Akhir ini, diharapkan dapat diambil manfaat sebagai berikut :

1. Secara akademis, diharapkan hasil pengerjaan Tugas Akhir ini dapat menunjang proses belajar mengajar dan turut memajukan pendidikan di Indonesia.
2. Secara praktek, diharapkan hasil dari Tugas Akhir ini dapat berguna sebagai referensi pengadaan kapal yang dapat mengangkut kereta api rute Merak-Bakauheuni.

I.5. Batasan Masalah

1. Penggunaan kapal terbatas di selat Sunda.
2. Asumsi rel kereta api sudah ada di ujung dermaga.
3. Perancangan kapal pada Tugas Akhir ini hanya sebatas *Concept Design*.
4. Perhitungan yang digunakan dalam Tugas Akhir ini merupakan teori pendekatan dengan menggunakan rumus-rumus yang ada.
5. Kondisi perairan dikondisikan pada keadaan *calm water*.

I.6. Hipotesis

Hipotesis awal dari Tugas Akhir ini adalah Kapal penyeberangan Ferry Ro-Ro dapat menjadi solusi alternatif untuk mengangkut sarana angkutan massal kereta api yang menghubungkan Pulau Jawa dan Pulau Sumatera.

I.7. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan yang disusun untuk pengerjaan Tugas akhir Perancangan kapal penyeberangan Ferry Ro-Ro sebagai fasilitas pengangkut kereta api rute Jawa – Sumatera ini adalah, sebagai berikut :

LEMBAR JUDUL

LEMBAR PENGESAHAN

KATA PENGANTAR

ABSTRAK

ABSTRACT

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR TABEL

DAFTAR SIMBOL

BAB I. PENDAHULUAN

Pada bab Pendahuluan yang dibahas adalah mengenai gambaran umum serta konsep dasar dari Tugas Akhir ini. Bab ini berisi latar belakang masalah, perumusan masalah, maksud dan tujuan dari Tugas Akhir, manfaat Tugas Akhir bagi penulis maupun pembaca, hipotesis awal Tugas Akhir, batasan masalah yang ditentukan oleh penulis, serta sistematika penulisan Tugas Akhir ini.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Pada bab ini membahas tentang teori yang berhubungan dengan Desain Kapal Ferry Ro-Ro, serta referensi lain yang mendukung dalam proses analisis dan penyelesaian masalah pada pengerjaan tugas akhir.

BAB III. TINJAUAN DAERAH PENELITIAN

Dalam bab Tinjauan Daerah Pelayaran ini akan dibahas mengenai penjelasan umum tentang kondisi geografis dan karakteristik perairan di wilayah Jawa dan Sumatera.

BAB IV. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini akan dijelaskan mengenai metode-metode yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini serta urutan kerja dan langkah pengerjaan yang dibuat dalam bentuk *flow chart* atau diagram alir untuk menyelesaikan tugas akhir perancangan kapal Ferry Ro-Ro ini.

BAB V. ANALISIS TEKNIS DAN PEMBAHASAN

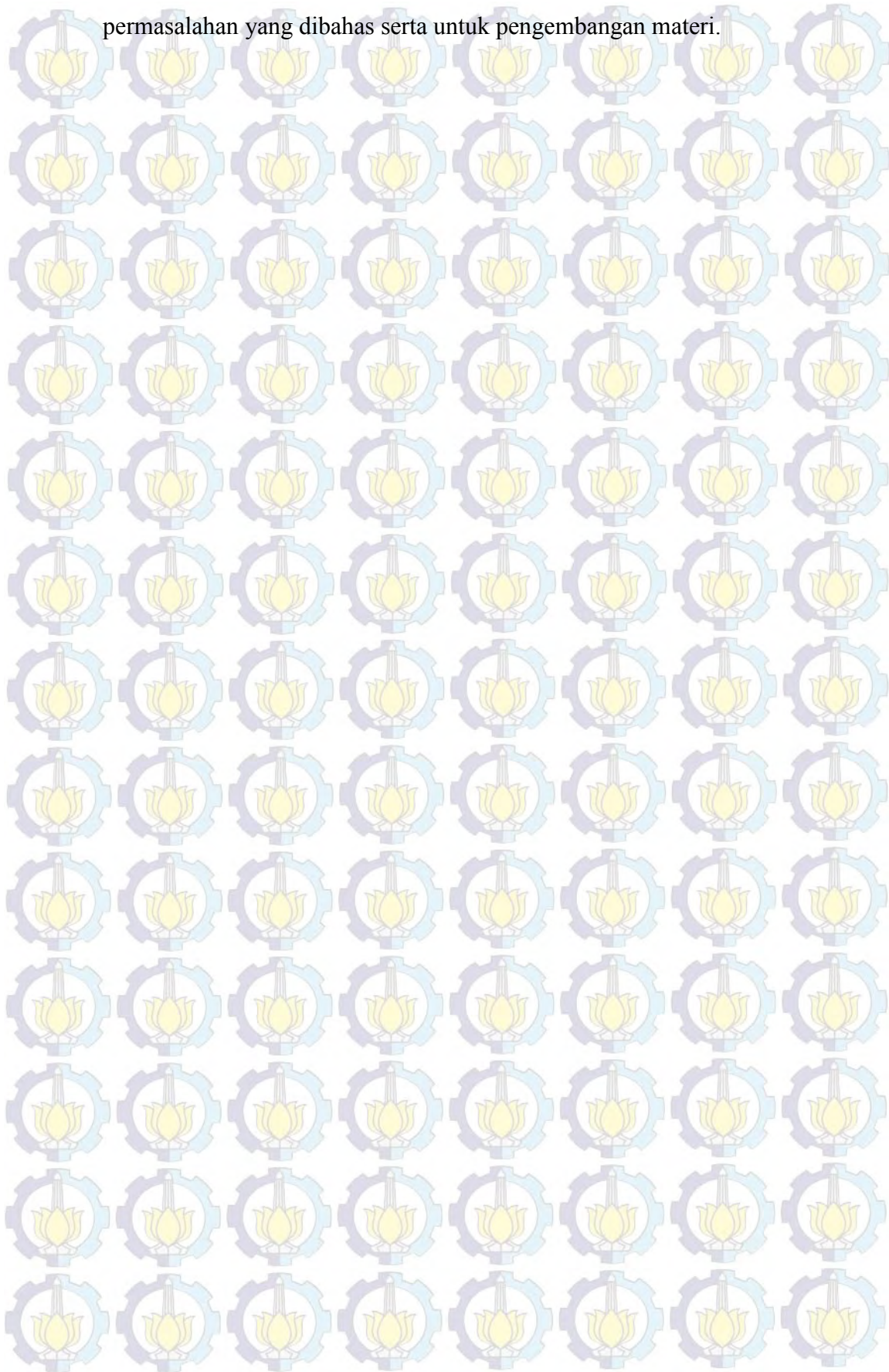
Pada bab ini dibahas mengenai analisis teknis yang dimulai dari penentuan desain awal, ukuran utama awal kapal, perhitungan hambatan dan daya mesin, LWT, DWT, perhitungan batasan sampai kepada ukuran utama optimum, rencana garis (*lines plan*) dan rencana umum (*general arrangement*).

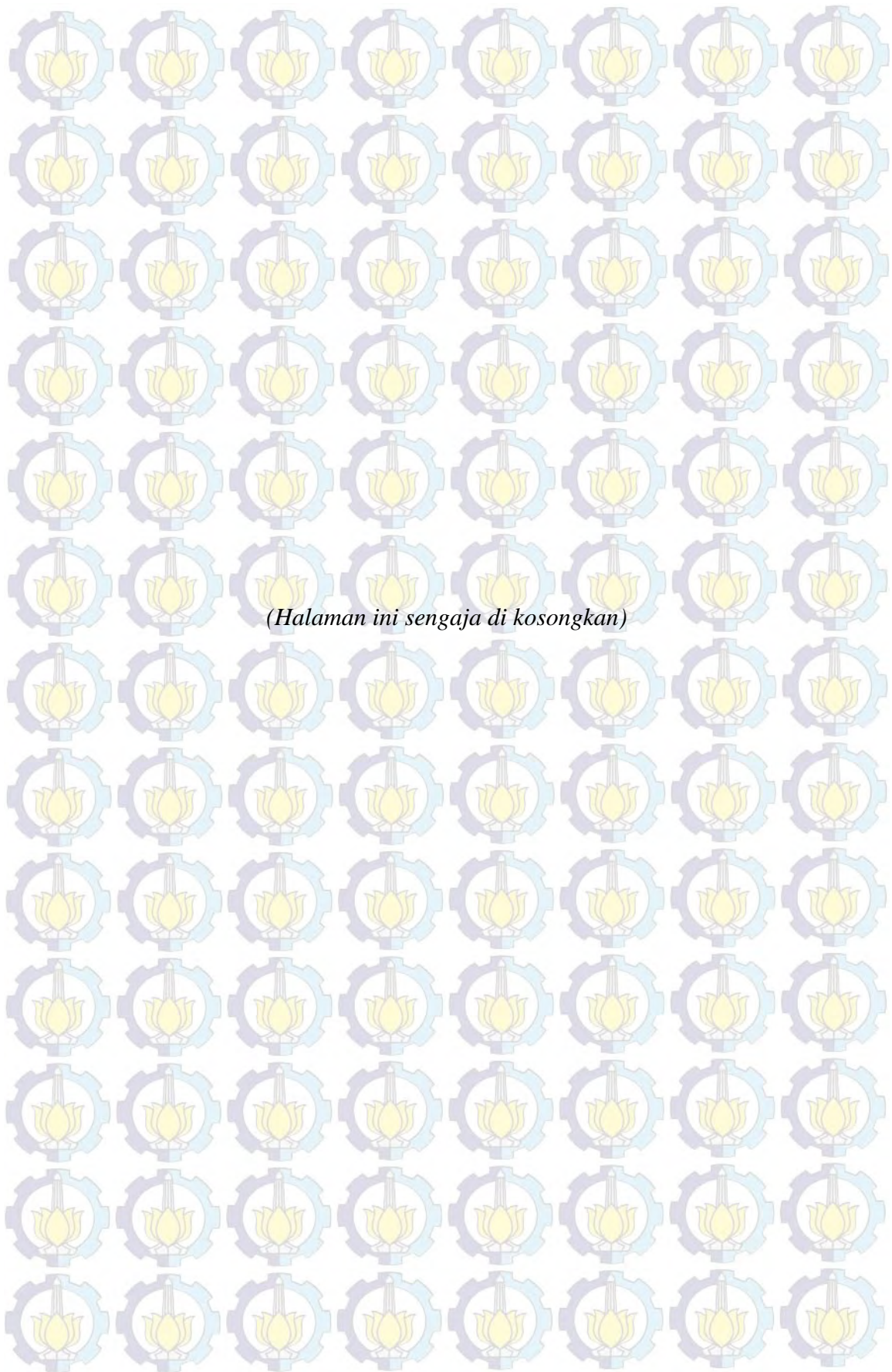
Pembuatan *lines plan* dilakukan dengan menggunakan *software* Maxsurf, sedangkan pembuatan *general arrangement* menggunakan *software* AutoCAD dengan acuan *lines plan* yang didapat sebelumnya.

BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam bab ini akan diberikan kesimpulan-kesimpulan yang didapat, dimana kesimpulan-kesimpulan tersebut menjawab permasalahan yang ada dalam tugas akhir ini, antara lain desain awal kapal Ferry Ro-Ro, ukuran utama kapal yang optimal, hasil *lines plan* dan rencana umum, serta biaya pembangunan kapal yang minimum.

Bab ini juga berisi saran-saran penulis sebagai tindak lanjut dari permasalahan yang dibahas serta untuk pengembangan materi.





BAB II TINJAUAN PUSTAKA

II.1. Gambaran Umum

Kapal Ferry merupakan sarana angkutan penyeberangan yang dapat mengangkut penumpang, kendaraan, barang, maupun ternak dari satu daratan ke daratan yang lain.

Kapal Ferry mempunyai peranan penting dalam sistem pengangkutan bagi banyak kota di pesisir pantai, membuat transit langsung antar kedua tujuan dengan biaya lebih kecil dibandingkan jembatan atau terowongan.

II.2. Penggolongan Tipe Kapal Ferry

Secara umum penggolongan tipe kapal ferry didasarkan menurut cara pemuatannya, hal ini dilakukan karena proses pemuatan kapal ferry erat kaitannya dengan beberapa aspek yang perlu diperhatikan dalam pemilihan kapal ferry yang sesuai dengan kondisi daerah operasi maupun dalam perancangan kapal ferry itu sendiri.

Beberapa aspek yang berpengaruh yaitu cara pemuatan kapal ferry berhubungan dengan pemilihan sistem propulsi yang akan dipakai, deras tidaknya arus pada daerah sandar, jarak bentang penyeberangan, ramai tidaknya lalu lintas pelayaran pada daerah itu maupun kondisi perairan setempat. Untuk lebih jelas dalam penggolongan tipe kapal ferry maka akan diuraikan secara terinci dibawah ini :

II.2.1. Kapal Ferry Dengan Pemuatan Dari Ujung-ujung (*End Loading*).

Kapal ferry dengan pemuatan dari ujung-ujung kapal biasanya dioperasikan pada daerah-daerah dengan kondisi sebagai berikut :

- Jarak bentang penyeberangan yang tidak begitu jauh sehingga jika ferry tersebut telah sampai, kapal tidak perlu berputar kembali sehingga untuk praktisnya ferry tersebut direncanakan memuat dari ujung kapal dan dapat berlayar dengan salah satu ujungnya didepan secara bergantian.
- Kecepatan arus pada daerah kapal ferry akan bersandar tidak begitu deras dan juga lalu lintas pelayaran pada tempat itu tidak terlalu ramai sehingga apabila kapal tersebut bersandar dengan ujung-ujungnya tidak akan mengganggu lalu lintas pelayaran.

- Untuk daerah penyeberangan yang tidak begitu deras, ferry yang digunakan biasanya berbentuk pontoon dengan pemuatan dari ujung depan atau dari ujung belakang kapal ferry tersebut. Dimana kapal-kapal tersebut mempunyai bentuk ujung depan dan ujung belakang yang sama dan kapal ini dapat berlayar dengan ujung-ujung secara bergantian.
- Untuk jarak bentang penyeberangan yang cukup jauh dengan arusnya tidak begitu deras, lebih sering dipakai kapal berbentuk kapal biasa dimana bentuk ujung depan dan ujung belakang tidak sama sehingga kapal tersebut berlayar dengan ujung depan maupun ujung belakang.



Gambar II.1 Ferry dengan Pemuatan Ujung (Roland Li, 2010)

II.2.2. Kapal Ferry Dengan Pemuatan Di Samping Kapal (Side Loading)

Kapal ferry dengan pemuatan side loading biasanya beroperasi pada daerah-daerah yang memiliki kondisi sebagai berikut :

- Jarak bentang penyeberangan relative jauh sehingga seandainya ferry tersebut harus berputar hal ini tidak seperti tipe end loading.
- Kondisi pada daerah tersebut tidak memungkinkan kapal merapat ke dermaga dari ujung kapalnya, hal ini dapat disebabkan karena ramainya lalu lintas pelayaran ataupun karena derasnya arus.



Gambar II.2 Ferry dengan Pemuatan Dari Samping (Roland Li, 2010)

II.3. Train Ferry/ Ferry Kereta

Ferry kereta adalah sebuah kapal yang dirancang untuk membawa kereta, biasanya memiliki rel kereta di dalamnya. Di dalam kapal ini dilengkapi pula jembatan (*ramp*) yang disebut Pintu Rampa yang di hubungkan ke dermaga ketika sandar.

Di berbagai belahan Negara-negara maju seperti halnya Eropa pengangkutan kereta api menggunakan sarana kapal Ferry untuk menghubungkan antar Pulau maupun antar Negara bukanlah hal yang baru. Sebagai contoh yang telah dilakukan Jerman dan Denmark yang menghubungkan jalur kereta api antar kedua Negara tersebut menggunakan kapal Ferry dari kota *Hamburg* (Jerman) menuju kota *Copenhagen* (Denmark) di dermaga Puttgarden.

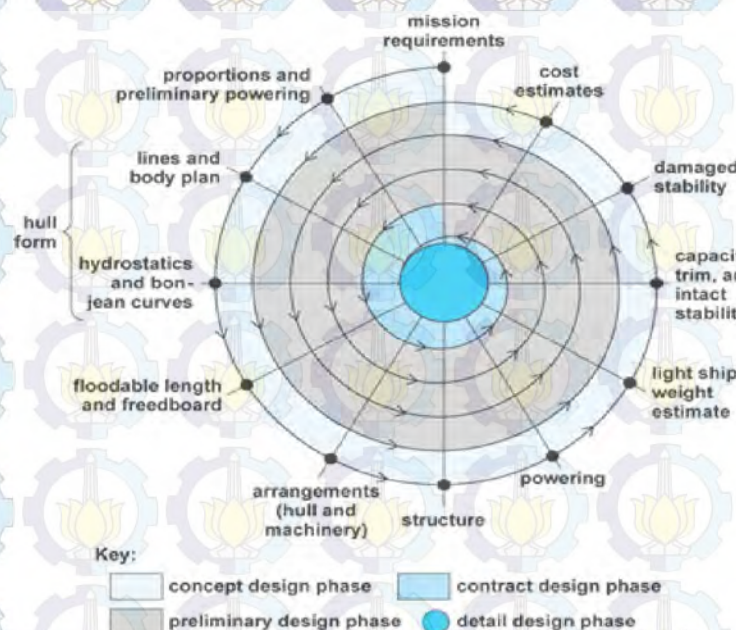
Di Indonesia Kapal Ferry mempunyai peranan penting dalam sistem pengangkutan bagi banyak kota di pesisir pantai yang membuat transit langsung antar kedua tujuan dengan biaya lebih kecil dibandingkan jembatan atau terowongan.



Gambar II.3 Kapal Ferry pengangkut Kereta (*Friedhelm Ernst, 2008*)

II.4. Pendekatan Desain

Proses pada desain kapal adalah proses yang berulang. Berbagai analisis dilakukan secara berulang untuk mendapatkan detail yang maksimal ketika proses desain dikembangkan, hal ini disebut sebagai desain spiral yang secara umum digambarkan sebagai berikut :



Gambar II.4 Basic Design Spiral (*Watson, 1998*)

Secara umum desain spiral digolongkan menjadi 4 tingkatan, yaitu :

II.4.1. Concept Design

Concept design adalah tahap pertama dalam proses desain yang menterjemahkan *mission requirement* atau permintaan pemilik kapal ke dalam ketentuan-ketentuan dasar dari kapal yang akan direncanakan. Dibutuhkan TFS (*Technical Feasibility Study*) sehingga menghasilkan ukuran utama seperti panjang, lebar, tinggi, sarat, *finnes* dan *fullness power*, karakter lainnya dengan tujuan untuk memenuhi kecepatan, *range (endurance)*, kapasitas, *deadweight*. Termasuk juga memperkirakan *preliminary lightship weight*, yang pada umumnya diambil dari rumus pendekatan kurva maupun pengalaman-pengalaman. Hasil-hasil pada *concept design* digunakan untuk mendapatkan perkiraan biaya konstruksi.

Langkah langkah pada *concept design* adalah sebagai berikut:

- Klasifikasi biaya untuk kapal baru dengan membandingkan terhadap beberapa kapal sejenis yang sudah ada.
- Mengidentifikasi semua perbandingan desain utama.
- Memilih proses iterasi yang akan menghasilkan desain yang memungkinkan.
- Membuat ukuran yang sesuai (analisis ataupun subyektif) untuk desain.
- Mengoptimasi ukuran utama kapal.
- Mengoptimasi detail kapal.

II.4.2. Preliminary Design

Langkah kelanjutan dari *concept design* mengecek kembali ukuran dasar kapal yang dikaitkan dengan *performance*. Pemeriksaan ulang terhadap panjang, lebar, daya mesin, *deadweight* yang diharapkan tidak banyak merubah pada tahap ini. Hasil diatas merupakan dasar dalam pengembangan rencana kontrak dan spesifikasi. Tahap *preliminary design* ditandai dengan beberapa langkah-langkah sebagai berikut:

- Melengkapi bentuk lambung kapal
- Pengecekan terhadap analisa detail struktur kapal
- Penyelesaian bagian interior kapal
- Perhitungan stabilitas dan hidrostatis kapal
- Mengevaluasi kembali perhitungan tahanan, *powering* maupun *performance* kapal

- Perhitungan berat kapal secara detail dalam hubungannya dengan penentuan sarat dan trim kapal
- Perhitungan biaya secara menyeluruh dan detail

II.4.3. Contract Design

Hasilnya sesuai dengan namanya dokumen kontrak pembuatan kapal. Langkah-langkahnya meliputi satu, dua atau lebih putaran dari desain spiral. Oleh karena itu pada langkah ini mungkin terjadi perbaikan hasil-hasil *preliminary design*. Tahap merencanakan/menghitung lebih teliti *hull form* (bentuk badan kapal) dengan memperbaiki *lines plan*, tenaga penggerak dengan menggunakan *model test*, *seakeeping* dan karakteristik *maneuvering*, pengaruh jumlah *propeller* terhadap badan kapal, detail konstruksi, pemakaian jenis baja, jarak dan tipe gading. Pada tahap ini dibuat juga estimasi berat dan titik berat yang dihitung berdasarkan posisi dan berat masing-masing item dari konstruksi. *General Arrangement detail* dibuat juga pada tahap ini. Kepastian kapasitas permesinan, bahan bakar, air tawar dan ruang-ruang akomodasi. Kemudian dibuat spesifikasi rencana standart kualitas dari bagian badan kapal serta peralatan. Juga uraian mengenai metode pengujian dan percobaan sehingga akan didapatkan kondisi kapal yang baik.

II.4.4. Detail Design

Tahap akhir dari perencanaan kapal adalah pengembangan detail gambar kerja. Hasilnya dari langkah ini adalah berisi petunjuk/instruksi mengenai instalasi dan detail konstruksi kepada tukang pasang (*fitter*), tukang las (*welder*), tukang perlengkapan (*outfitter*), tukang pelat, penjual mesin, tukang pipa dan lain-lainnya. Langkah ini perubahan dari *engineer* (ahli teknik) untuk tukang, oleh karena itu tidak bisa diinterpelasikan (dirubah). Pada proses perencanaan, pengaturan dan pendeskripsian proses desain kapal, suatu perbedaan antara *Level I (Total Ship)* desain dan *Level II (Ship System)* desain. *Level I* desain berhubungan dengan sintesa dan analisis dari atribut total kapal seperti bentuk lambung dan rencana umum (*General Arrangement*) dan perkiraan dari atribut total kapal seperti berat dan titik berat kapal. *Level II* desain berhubungan dengan sintesa dan analisis elemen utama kapal secara khusus seperti struktur, sistem propulsi, pembangkit dan distribusi listrik, *ship control*, navigasi dan sistem komunikasi dan juga sistem mekanik termasuk pipa dan HVAC (*heating, ventilation, air condition*) serta *outfitting*. Beberapa hasil pada level II desain

merupakan input dari level I desain seperti hasil dari data berat, ketahanan, kebutuhan awak kapal, biaya dan resiko.

II.5. Perancangan Kapal Dengan Metode Optimisasi

II.5.1. Pemahaman Optimisasi

Optimisasi merupakan suatu proses untuk mendapatkan satu hasil yang relatif lebih baik dari beberapa kemungkinan hasil yang memenuhi syarat berdasarkan batasan-batasan tertentu (Setijoprajudo, 1999). Optimisasi mencerminkan perilaku para pelaku ekonomi yang rasional, artinya sebagai konsumen ia akan selalu memaksimalkan kepuasannya dan sebagai produsen ia akan memaksimalkan keuntungannya atau meminimalkan kerugiannya. Pada dasarnya optimisasi adalah mencari titik maksimum atau minimum dari suatu fungsi. Caranya dengan mencari titik stasioner baik untuk fungsi 1 variabel maupun untuk fungsi dengan n variabel. Misalnya:

- fungsi tujuan dengan satu variabel $= f(X_1)$
- fungsi tujuan dengan n variabel $= f(X_1, X_2, \dots, X_n)$

Dalam proses optimisasi selalu melibatkan hal-hal dibawah ini (Setijoprajudo, 1999), yaitu :

1. Variabel adalah harga harga yang akan dicari dalam proses optimisasi.
Contoh : L, B, H, T, Diameter propeller, Ae/Ao dll.

Jenis – jenis variabel adalah :

- Variabel tak bebas (*dependent variables*), yaitu variabel yang tidak dapat berdiri sendiri, melainkan berhubungan satu dengan yang lainnya.
 - Variabel bebas, yaitu variabel yang dapat berdiri sendiri
 - Variabel tunggal (uni-variable)
 - Variabel ganda (multi-variables)
 - Variabel kontinyu (continous-variabel) yaitu variabel yang dapat mempunyai harga pada daerah yang sudah ditentukan
 - Variabel tertentu (discrete variables) yaitu variabel yang dihitung untuk kondisi – kondisi tertentu.
2. Parameter adalah harga harga yang tidak berubah besarnya selama satu kali proses optimisasi karena syarat-syarat tertentu (misal dari peraturan suatu ketentuan

ketetapan rule internasional lainnya) atau dapat juga suatu variable yang diberi harga tertentu. Harga tersebut dapat diubah setelah satu kali proses optimisasi untuk menyoediki kemungkinan terdapatnya hasil yang lebih baik.

3. Konstanta adalah harga yang tidak berubah besarnya selama proses optimisasi berlangsung tuntas.

Contoh : Berat jenis air, gravitasi bumi

4. Batasan adalah harga-harga batas yang telah ditentukan baik perencana, pemesan, biro klasifikasi, peraturan keselamatan pelayaran, kondisi perairan, maupun oleh persyaratan-persyaratan lainnya.

Batasan yang merupakan persamaan biasanya ditulis :

$$h(x) = 0$$

Bentuk umum :

$$G_{\min}(x) < g(x) < g_{\max}(x)$$

Bentuk standar :

$$\text{Untuk } g_{\min} > 0, \text{ maka } G(x) = \frac{g(x)}{g_{\min}(x)} - 1 > 0$$

Contoh : $2,2 < H < 3,5$ m merupakan batasan yang diberikan oleh pemesan yang merupakan batas minimum dan batas maksimum tinggi kapal yang dapat bersandar pada dermaga pemesan.

5. Fungsi Obyektif adalah hubungan antara semua atau beberapa variable serta parameter yang harganya akan dioptimalkan. Fungsi tersebut dapat berupa linear atau kompleks serta bisa juga gabungan dari beberapa fungsi obyektif yang lain.

Contoh : akan dibangun kapal dengan biaya paling murah. Maka biaya disini berfungsi sebagai fungsi objektif yang diminimumkan.

II.5.2. Klasifikasi Permasalahan Optimasi

Terdapat lebih dari 4000 solusi algoritma dalam berbagai masalah optimisasi (Arsham, 2001). Solusi algoritma yang telah dikenal dalam bentuk program matematis dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

- *Linear Program*

Linear Programming berhubungan dengan masalah optimisasi dimana baik fungsi tujuan yang ingin dioptimalkan dan semua fungsi pembatasnya adalah *linear* terhadap *variable* keputusan.

- *Quadratic Program*

Quadratic Program merupakan kelas permasalahan optimisasi dengan fungsi obyektif berbentuk kuadrat.

- *Convex Program*

Merupakan kelas permasalahan optimisasi dengan fungsi obyektif berbentuk konveks.

- *Separable Program*

Merupakan kasus khusus dari *convex program* dimana fungsi obyektif dan fungsi pembatasnya merupakan fungsi yang terpisah.

- *Fractional Program*

Dalam klasifikasi ini fungsi obyektif dalam bentuk rasio dari dua fungsi

- *Global Optimization*

Tujuan dari optimisasi global adalah untuk menemukan solusi terbaik dari model keputusan bila terdapat multi solusi lokal

- *Non Convex Program*

Meliputi semua *non linear program* yang tidak memenuhi asumsi konveksitas.

Optimisasi dapat dijelaskan sebagai proses mencari kondisi yang memberikan nilai maksimum dari sebuah fungsi (Rao, 1996). Optimisasi adalah tindakan untuk mendapatkan hasil terbaik atas suatu keadaan tertentu yang diberikan. Sebuah

optimisasi atau juga disebut pemograman masalah matematis dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\text{Find} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} \text{ sehingga meminimalkan nilai } f(x)$$

$$G_j(x) \leq 0, j = 1, 2, 3, \dots, m$$

$$ij(x) \leq 0, j = 1, 2, 3, \dots, m$$

Dimana :

x = *design vector*

x_1, x_2, \dots, x_n = *design variable*

$f(x)$ = *objective function*

$g_j(x)$ dan $ij(x)$ = *constraint* pertidaksamaan dan persamaan

Masalah diatas disebut *constrained optimization problem*.

Program optimisasi dalam penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan karakteristik ukuran utama kapal. Fungsi objektif yang dipakai disini adalah meminimalkan biaya pembangunan kapal, biaya investasi dan maksimal profit. Program optimisasi ini dijalankan dengan bantuan *software* Microsoft Excel.

II.6. Tinjauan Teknis Perancangan Kapal

II.6.1. Ukuran Utama Awal Kapal

Tujuan dilakukannya perancangan kapal adalah untuk mendapatkan ukuran utama kapal optimal yang memenuhi *owner requirement*, batasan (*constraint*) yang berlaku, dan *building cost* minimum.

Dalam Tugas Akhir ini, untuk mendapatkan ukuran utama awal dilakukan dengan mendesain layout awal untuk dijadikan ukuran utama awal atau *initial value*. Dari *initial value* tersebut kemudian dilakukan proses optimasi untuk mendapatkan ukuran utama yang optimal, yang memenuhi batasan-batasan yang telah ditentukan.

Ukuran utama awal tersebut antara lain sebagai berikut:

- a. L : *Length*, adalah Ukuran panjang awal kapal.
- b. B : *Breadth*, adalah lebar kapal yang diukur dari bagian kapal terluar.
- c. T : *Draft* (sarat), adalah garis tegak yang diukur dari *baseline* sampai garis air.
- d. H : *Height*, adalah tinggi kapal yang diukur dari *baseline* sampai geladak utama (*main deck*)

II.6.2. Dasar Perhitungan Hambatan

Perhitungan tahanan kapal pada tugas akhir ini menggunakan Metode Holtrop & Mennen. Di dalam metode ini hambatan dibagi menjadi beberapa komponen hambatan. Komponen tersebut yaitu viscous resistance (hambatan kekentalan), appendages resistance (hambatan karena bentuk kapal), dan wave making resistance (hambatan gelombang akibat olah gerak kapal).

II.6.3. Dasar Perhitungan Motor Induk

Motor induk dipilih dari katalog yang ada, sesuai dengan daya yang dibutuhkan untuk dapat mencapai kecepatan dinas yang ditentukan dalam owner requirement. Daya motor induk didapatkan dari nilai hambatan yang dikalikan dengan kecepatan, sehingga didapatkan EHP (*Effisien Horse Power*) yang bekerja pada propeller. Untuk menghitung daya yang dibutuhkan tidak dapat ditentukan dari efisiensi gaya yang bekerja pada propeller saja, namun harus dihitung juga pengurangan daya yang diterima dari mesin induk ke daun propeller.

II.6.4. DASAR PERHITUNGAN BERAT KAPAL

Perhitungan berat kapal dalam Tugas Akhir ini dilakukan dengan cara menghitung melalui pendekatan-pendekatan dengan rumus yang telah di berikan. Pada kapal sendiri terdapat dua komponen berat, yaitu LWT (light weight tonnage) serta DWT (dead weight tonnage). LWT terdiri dari berat lambung kapal, berat konstruksi kapal, serta instalasi dan peralatan yang terdapat pada kapal. Sedangkan DWT terdiri dari berat *crew* kapal, berat penumpang (*passangers*), berat barang bawaan crew dan penumpang, berat bahan bakar, minyak pelumas, dan air tawar.

II.6.5. Dasar Perhitungan Batasan

Perhitungan batasan kapal terdiri dari hukum *Archimedes*, *trim*, *freeboard*, stabilitas, dan *tonnage*. Jika nilai tersebut memenuhi, maka diambil nilai dengan harga pembangunan yang terkecil.

Hukum Archimedes adalah hukum tentang hubungan dari gaya angkat dan gaya berat. Di dalam hukum Archimedes, gaya angkat kapal harus lebih besar dari gaya berat. Besar selisih telah diatur di perhitungan.

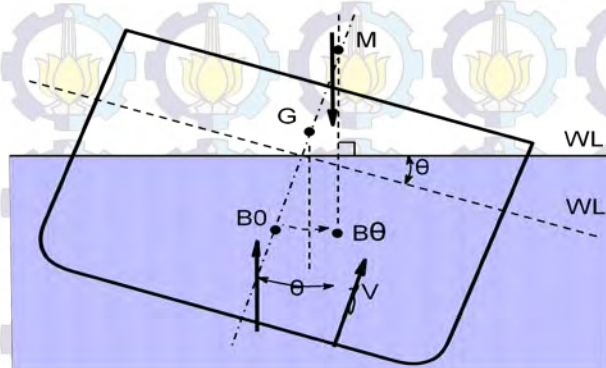
Trim adalah selisih antara sarat depan kapal dengan sarat belakang. Di dalam perhitungan, trim dibagim menjadi 3 jenis yaitu . Jika sarat depan lebih besar dari sarat belakang, maka disebut Trim Haluan. Jika sarat depan lebih kecil dari sarat belakang, maka disebut Trim Buritan. Jika sarat depan sama besar dengan sarat belakang, maka disebut *Even Keel*.

Stabilitas adalah Stabilitas kapal adalah kemampuan kapal untuk menegak kembali sewaktu kapal pada saat diapungkan, tidak miring kekiri atau kekanan, demikian pula pada saat berlayar, disebabkan oleh adanya pengaruh luar yang bekerja padanya pada saat kapal diolengkan oleh ombak atau angin, kapal dapat tegak kembali.

Ada 3 jenis stabilitas kapal :

- Stabil

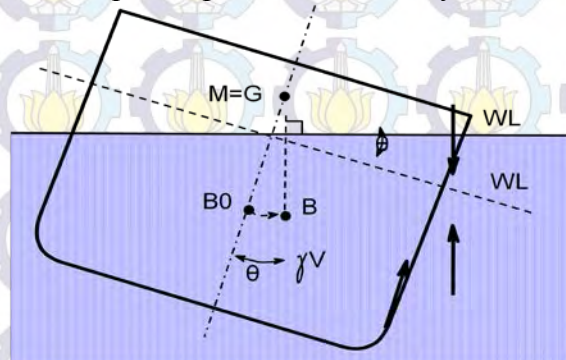
Garis kerja gaya berat berada di sebelah kiri garis kerja gaya apung. Karena kapal lebar hingga titik B dapat berpindah banyak Momen kopel akan memutar badan kapal



Gambar II.5 Gambar kapal keadaan stabil

- Netral

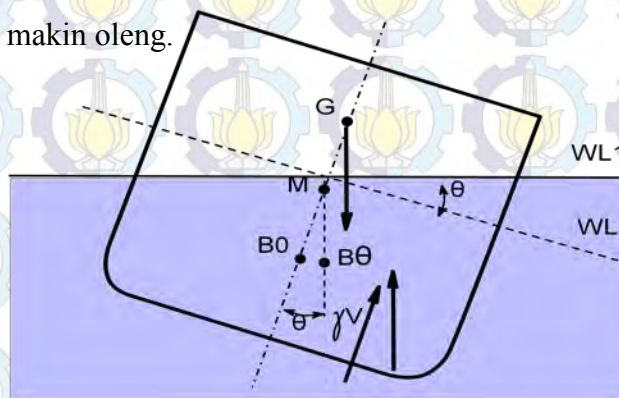
garis kerja gaya berat berimpit dengan garis kerja gaya apung. karena kapal lebih sempit dan titik B tidak dapat berpindah terlalu banyak, Momen kopel atau penegak besarnya nol



Gambar II.6 Gambar kapal keadaan netral

- Labil

garis kerja gaya berat berada di sebelah kiri garis kerja gaya apung. karena kapal sempit hingga titik B hanya dapat berpindah sedikit, Momen kopel atau penegak akan memutar kapal makin oleng.



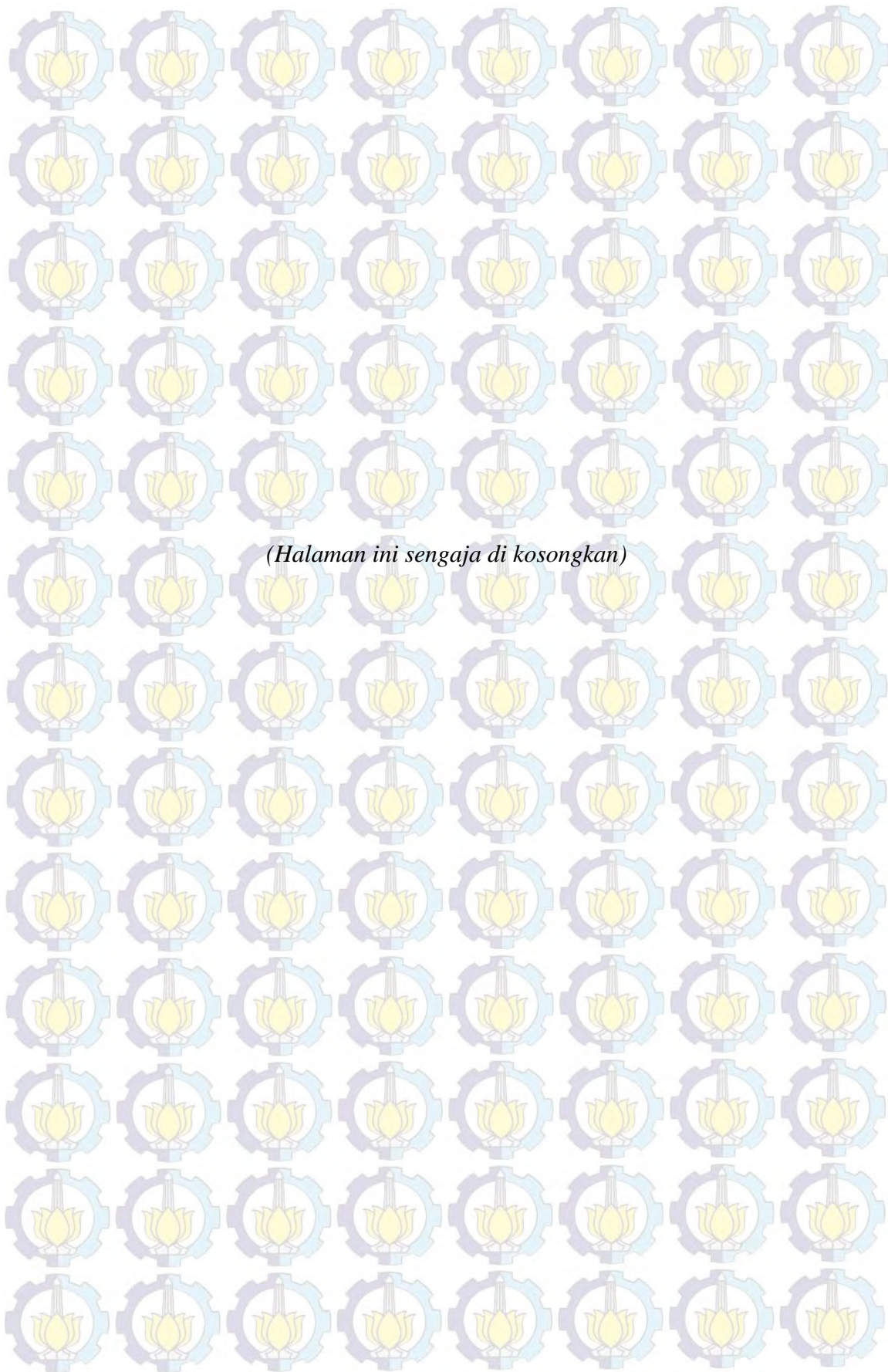
Gambar II.7 Gambar kapal keadaan labil

Freeboard Adalah jarak vertikal antara garis geladak bagian atas sampai dengan lingkaran *Plimsol Mark*. Semakin besar muatan kapal, kapal turun kedalam air semakin dalam sampai batas aman yang ditandai dengan *Plimsol Mark*.

Tonnage dibagi menjadi 2 bagian yaitu *Gross tonnage* (GT) dan *Net tonnage* (NT). *Gross tonnage* menggambarkan total volume ruang yang tertutup sebuah kapal mulai dari lunas hingga cerobong. Sedangkan *Net tonnage* menggambarkan total volume muatan yang tertutup sebuah kapal mulai dari muatan kapal hingga muatan bahan bakar.

II.6.6. DASAR PERHITUNGAN BIAYA PEMBANGUNAN KAPAL

Dalam hal ini biaya pembangunan kapal didasarkan pada biaya pengadaan mesin utama dan pelat badan kapal, karena kedua biaya tersebut di atas merupakan komponen yang paling besar dalam penentuan biaya total kapal secara umum terkait dengan optimisasi yang dilakukan. Biaya pengadaan mesin utama diperoleh dari besar tenaga mesin yang digunakan dan harga mesin. Sedangkan biaya pengadaan pelat badan kapal dihitung dari berat material dan harga pelat badan kapal.



(Halaman ini sengaja di kosongkan)

BAB III TINJAUAN DAERAH PENELITIAN

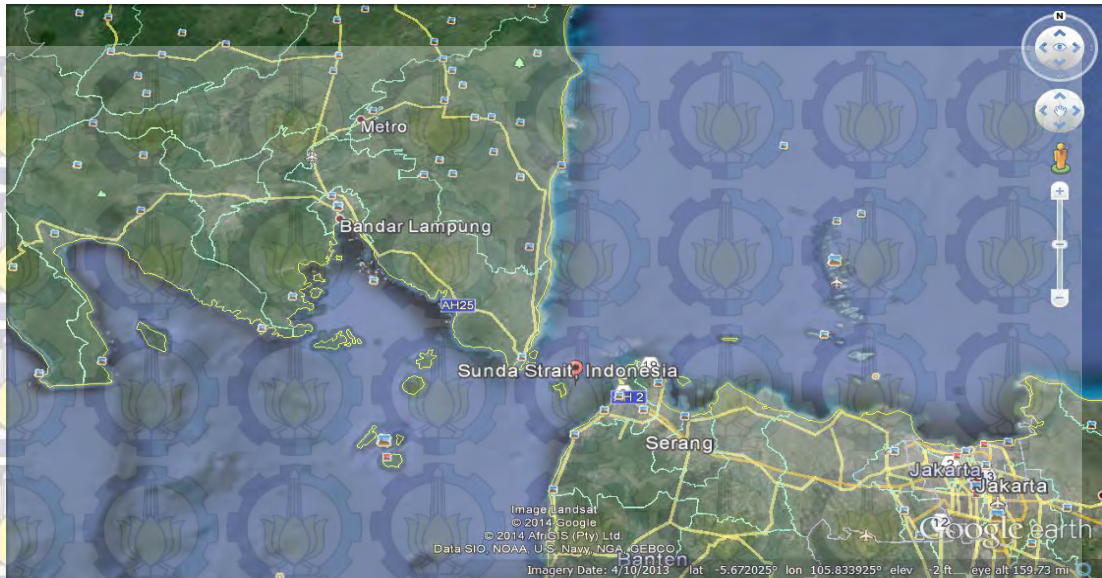
III.1. Gambaran Umum

Selat sunda merupakan batas sekaligus penghubung kedua pulau besar di Indonesia yaitu Pulau Jawa dan Sumatera, serta menghubungkan Laut Jawa dengan Samudera Hindia. Pada titik tersempit, lebar selat Sunda hanya sekitar 30 km. Beberapa pulau kecil terletak di selat ini, di antaranya pulau vulkanik Krakatau.

Selat Sunda memiliki peranan yang sangat penting untuk menunjang perekonomian kedua pulau tersebut. Sebagai salah satu dari dua lintasan utama yang mengalir dari Laut Cina Selatan menuju Samudera Hindia (satunya lagi ialah Selat Malaka), Selat Sunda merupakan jalur pelayaran penting. Walaupun bahaya seperti sempitnya selat dan batu karang mengancam, luas Selat Sunda lebih pendek dari Selat Malaka sehingga kapal yang berlayar di sini kecil kemungkinannya untuk terhadang oleh bajak laut.



Gambar III.1 Selat Sunda (Wikipedia 1999)



Gambar III.2 Lokasi Selat Sunda dari Peta Indonesia
(U.S Dept. of state Geographer, 2014)

III.2. PELABUHAN

Kawasan pelabuhan di selat sunda ini selalu menjadi padat menjelang hari besar dan libur nasional. Ada dua pelabuhan yang melayani rute Pulau Jawa dan Sumatera ini yaitu:

1. Pelabuhan Merak

Merak adalah sebuah pelabuhan penyeberangan di Kota Cilegon, Banten yang menghubungkan Pulau Jawa dengan Pulau Sumatera yang dipisahkan oleh (Selat Sunda). Setiap harinya, ratusan perjalanan feri melayani arus penumpang dan kendaraan ke Pulau Sumatera maupun sebaliknya.



Gambar III.3 Pemudik bersepeda motor di Pelabuhan Merak (Wikipedia. 2014)



Gambar III.4 Kapal Ferry di Pelabuhan Merak (Wikipedia, 2014)

2. Pelabuhan Bakauheni

Bakauheni adalah sebuah pelabuhan penyeberangan yang terletak di Kecamatan Bakauheni, Kabupaten Lampung Selatan. Terletak di ujung selatan dari Jalan Raya Lintas Sumatera, pelabuhan Bakauheni menghubungkan Pulau Sumatera dan Jawa melalui perhubungan laut.

Ratusan Trip Ferry penyeberangan dengan 24 buah kapal ferry dari beberapa operator berlayar mengarungi Selat Sunda yang menghubungkan Bakauheni dengan Merak di Provinsi Banten, Pulau Jawa. Kapal-kapal ferry penyeberangan ini terutama melayani jasa penyeberangan angkutan darat seperti bus-bus penumpang antar kota, antar provinsi, truk-truk barang maupun mobil pribadi.

Rata-rata durasi perjalanan yang diperlukan antara Bakauheni - Merak atau sebaliknya dengan ferry ini adalah sekitar 2 jam.



Gambar III.5 kapal Ferry di Pelabuhan Bakauheni (Wikipedia, 2014)

III.3. SEJARAH JALUR KERETA API DI PULAU JAWA DAN SUMATERA

Pembangunan jalur kereta api di Indonesia tidak lepas dari peran pemerintahan Hindia Belanda di masa lalu. Kehadiran kereta api di Indonesia ditandai dengan pencangkulan pertama oleh Gubernur Jenderal Hindia Belanda, *Mr. L.A.J. Baron Sloet van den Beele* pada tanggal 17 Juni 1864 di desa Kemijen. Pembangunan jalur kereta api menghubungkan Kemijen menuju Tanggung (25km) dengan lebar sepur 1435mm, di prakarsai oleh “*Naamlooze Venootschap Nederlandsch Indische Spoorweg Maatschappij*” (NV. NISM) yang dipimpin oleh *Ir. J.P. de Bordes*. kemudian pada tanggal 10 Februari tahun 1870 menghubungkan kota Semarang-Surakarta (110 Km). Pertumbuhan panjang jalan rel antara tahun 1864-1900 tumbuh dengan pesat, jika tahun 1867 m encapai 25 km , tahun 1870 m menjadi 110 km, kemudian tahun 1880 mencapai 405 km, tahun 1890 menjadi 1.427 km dan pada tahun 1900 menjadi 3.338 km. Sampai dengan tahun 1939, panjang jalan kereta api di Indonesia mencapai 6.811 km. Tetapi, pada tahun 1950 panjangnya berkurang menjadi 5.910 km, kurang lebih 901 km raib, yang diperkirakan karena dibongkar semasa pendudukan Jepang dan diangkut ke Burma untuk pembangunan jalan kereta api di sana.



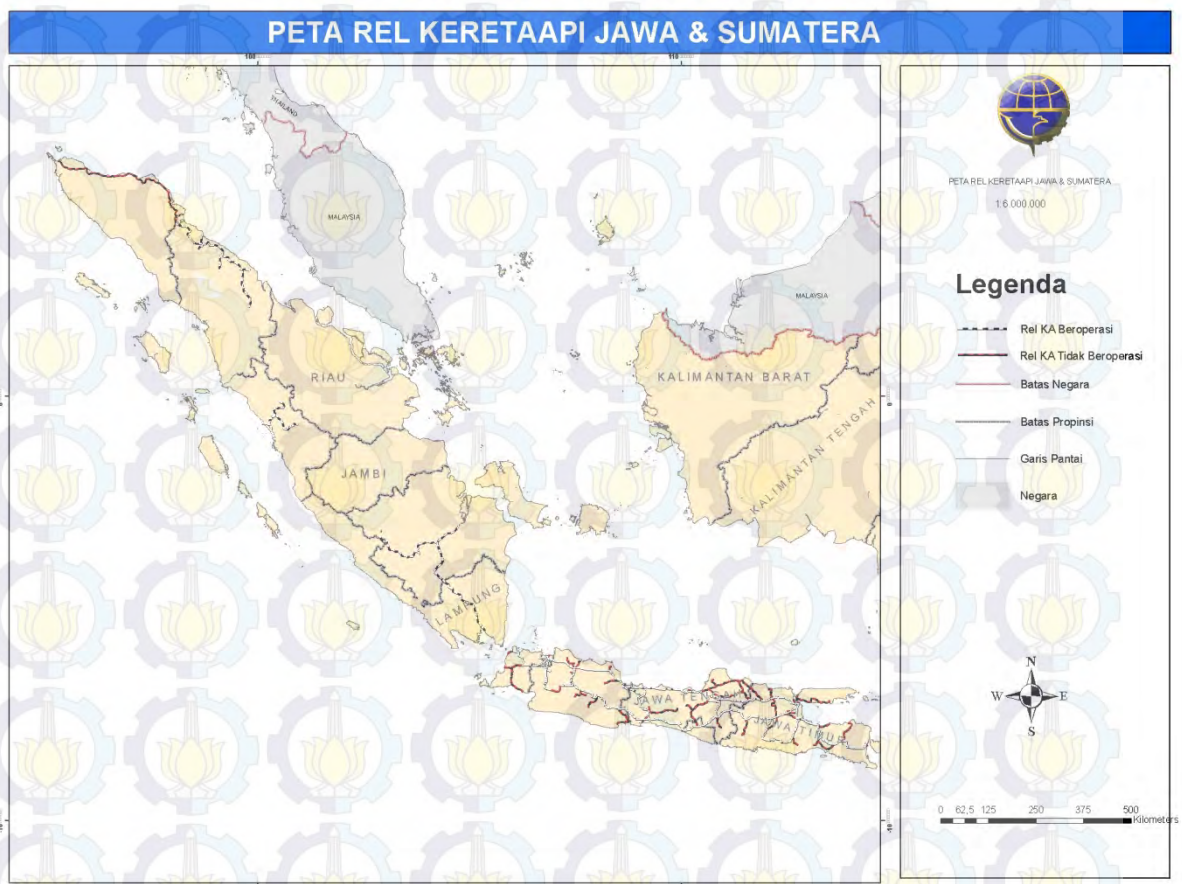
Stasiun Kemijen, SAMARANG, NIS
stasiun pertama yang dibangun *Nederlandsch – Indische Spoorweg Maatschappij* (NIS) 1864.

Saat ini sebagian bangunan Saat ini masih ada di Semarang menjadi tempat tinggal penduduk

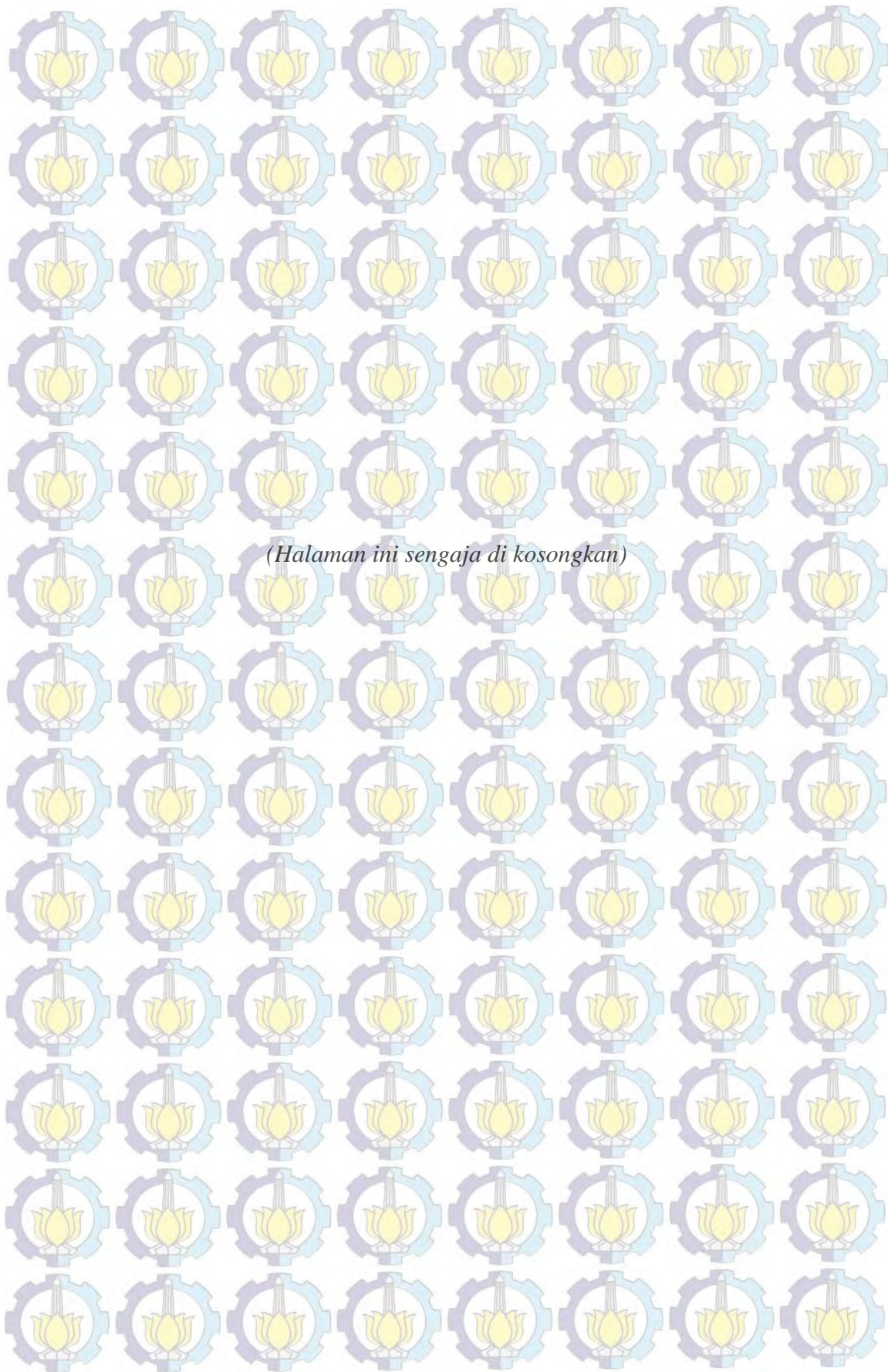
Sumber : van *Ballegoijen de Jong* (1993)

Gambar III.6 Stasiun pertama di pulau Jawa (Van Ballegoijen de jong 1993)

Selain di Jawa, pembangunan jalur kereta api juga dilakukan di Sumatera Selatan (1914), Sumatera Barat (1891), Sumatera Utara (1886), Aceh (1874), bahkan tahun 1922 di Sulawesi juga telah dibangun jalan kereta api sepanjang 47 Km antara Makasar-Takalar, yang pengoperasiannya dilakukan tanggal 1 Juli 1923, sisanya Ujung pandang-Maros belum sempat diselesaikan. Sedangkan di Kalimantan, Bali, Lombok meskipun belum sempat dibangun, namun pernah dilakukan studi pembangunan jalur kereta api.



Gambar III.7 Peta Jalur kereta api di Jawa dan sumatera
(PUSDATIN-SETJEN KEMENHUB 2008)



(Halaman ini sengaja di kosongkan)

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

Dalam mengerjakan Tugas Akhir ini tentunya diperlukan metode-metode pengerjaan dan analisa perhitungan yang baik. Dalam bab Metodologi Penelitian ini akan dibahas langkah-langkah analisa perhitungan, metode yang digunakan, dan model penelitian yang dipakai. Hasil dari perhitungan berupa rencana garis, rencana umum, dan biaya pembangunan yang minimum. Dibawah ini akan dibahas lebih lanjut mengenai langkah-langkah pengerjaan tugas akhir ini.

IV.1. Langkah-langkah Pengerjaan Tugas Akhir

Dalam merancang sebuah kapal maka kita harus membuat urutan pengerjaan yang nantinya akan menjadi alur pengerjaan yang akan memudahkan proses pengerjaan. Hal ini dimaksudkan untuk membantu kita membuat suatu acuan yang umum dan dapat dipertanggung jawabkan. Secara umum proses merancang sebuah kapal dimulai dengan pengambilan data input dilanjutkan dengan pengolahan data input berdasarkan segala perhitungan yang *valid* kemudian akan keluar suatu hasil yang kita inginkan. Untuk secara terperinci metode pengerjaannya sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Tahap pertama yang dilakukan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah studi literatur. Studi literatur adalah untuk mengetahui teori-teori yang akan digunakan dalam menyelesaikan tugas akhir serta untuk lebih memahami permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini. Referensi-referensi untuk mengerjakan tugas akhir ini didapat dari buku, jurnal ilmiah, *paper*, tugas akhir sebelumnya yang masih berkaitan, serta *browsing* dengan internet.

2. Pengumpulan Data

Langkah kedua yang dilakukan adalah pengumpulan data yang dibutuhkan. Data tersebut harus meliputi segala sesuatu yang diperlukan dan berhubungan dalam pengerjaan perancangan kapal tersebut. Ada beberapa pengelompokan, antara lain :

a. Survey

Data ini sangat dibutuhkan dimana nantinya data ini akan menjadi acuan dalam menentukan ukuran utama dari kapal yang akan dirancang. Dari data survey,

didesain ruangan-ruangan yang ada, Sehingga diketahui ukuran utama awal kapal yang kemudian dilakukan perhitungan teknis.

b. Data Jumlah Penumpang

Data ini berisi berapa maksimal jumlah penumpang yang biasanya menaiki kereta api di daerah yang dijadikan studi kasus. Data ini diperlukan untuk mengetahui jumlah penumpang yang nantinya dapat diangkut kapal. Data tersebut berasal dari jumlah kapasitas angkut kereta api setiap gerbong.

c. Data Daerah

Data ini meliputi data kondisi perairan yang dilalui oleh kapal ini. Data perairan ini meliputi jarak tiap pulau, waktu operasi kapal, dan keadaan perairan. Data ini diperlukan untuk mengetahui kecepatan kapal sehingga dapat diketahui mesin yang akan digunakan.

3. Penentuan Parameter, Variabel, dan Batasan.

Langkah selanjutnya adalah pembuatan model optimisasi yang diperlukan untuk mendapatkan ukuran utama kapal awal yang optimal. Ukuran utama awal tersebut nantinya tetap akan dilakukan pengecekan ulang (iterasi) sampai didapatkan ukuran utama yang benar-benar optimal sesuai batasan-batasan yang telah disyaratkan. Langkah awal dalam pembuatan model optimisasi adalah menentukan parameter, variable, serta batasan.

a. Parameter

Parameter adalah besaran yang nilainya tidak berubah selama satu kali proses optimisasi. Yang termasuk parameter dalam model optimisasi ini adalah jumlah penumpang, jumlah crew kapal, radius pelayaran, serta kecepatan kapal.

b. Variabel

Variabel adalah nilai yang ingin dicari dari proses optimisasi. Variabel dalam model optimisasi ini adalah panjang kapal, lebar kapal, sarat kapal, tinggi kapal.

c. Batasan (*constraint*)

Batasan atau *constraint* adalah besaran yang nilainya telah ditentukan oleh pihak perencanaan. Batasan dapat ditentukan dari data ukuran utama kapal pembanding serta batasan dari perhitungan teknis yang disyaratkan seperti batasan perbandingan ukuran utama, hukum *Archimedes*, trim, *freeboard*, *tonnage*, serta batasan pada perhitungan stabilitas kapal.

4. Perhitungan Teknis Perancangan Kapal

Setelah ukuran utama awal didapat kemudian dilakukan perhitungan teknis dari ukuran utama tersebut. Perhitungan teknis ini dilakukan dengan bantuan *software Microsoft Excel*. Perhitungan teknis yang dilakukan untuk menyelesaikan tugas akhir ini antara lain sebagai berikut:

a. Perhitungan Hambatan

Perhitungan hambatan pada kapal ini menggunakan metode *Holtrop and Mennen*.

b. Perhitungan Daya Yang dibutuhkan

Setelah hambatan total didapat maka dapat dilakukan perhitungan daya kapal dari EHP, DHP, kemudian BHP kapal. Hasil dari perhitungan ini nantinya menjadi acuan pemilihan mesin kapal yang digunakan.

c. Perhitungan berat dan titik berat

Setelah perhitungan daya maka kita hitung berat kapal yang terdiri dari LWT dan DWT kapal.

d. Perhitungan batasan

Perhitungan batasan kapal terdiri dari batasan perbandingan ukuran utama, hukum *Archimedes*, trim, *freeboard*, *tonnage*, serta batasan pada perhitungan stabilitas kapal. Jika perhitungan tersebut telah memenuhi, maka dioptimasi dengan mencari biaya pembangunan minimum.

5. Pembuatan Rencana Garis

Pembuatan rencana garis dilakukan setelah didapat ukuran utama yang optimal dari proses optimasi pada tahap perhitungan teknis. Pembuatan rencana garis ini dilakukan dengan bantuan *software Maxsurf*. Acuan pembuatan rencana garis ini adalah rencana garis kapal dengan bentuk kapal *monohull* yang sudah ada. Kemudian untuk memperhalus hasil rencana garis yang didapat dari *Maxsurf* digunakan *software AutoCAD*. Data hasil hidrostatik nantinya akan dikomparasi dengan hasil perhitungan diatas. Jika terjadi perbedaan maka dilakukan penyesuaian

6. Pembuatan Rencana Umum

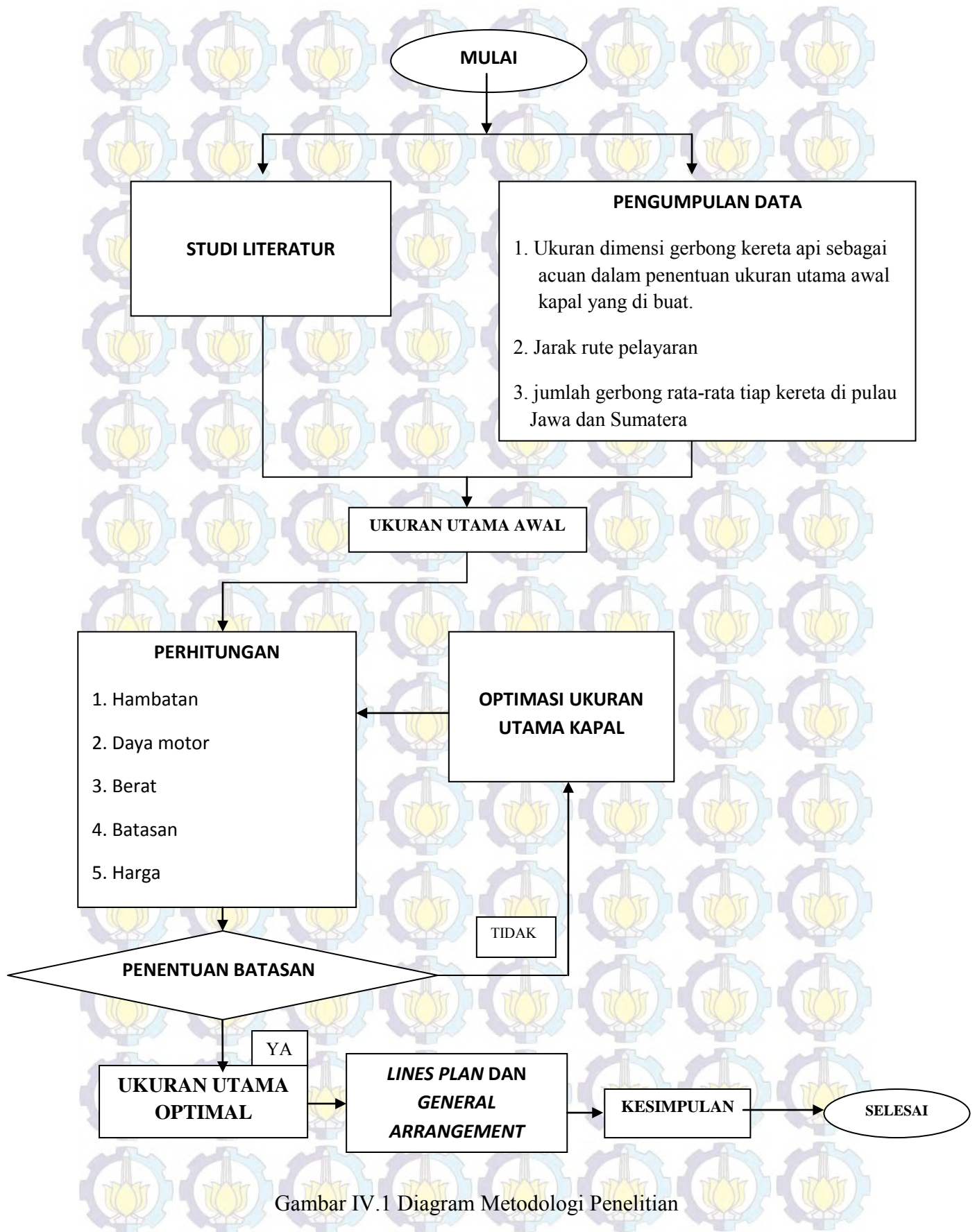
Dari rencana garis yang sudah dibuat diatas, kemudian dibuat rencana umum dengan *software AutoCAD*. Rencana umum adalah perencanaan ruangan yang dibutuhkan sesuai dengan fungsi dan perlengkapannya. Ruangan-ruangan tersebut

misalnya : ruang muat, ruang akomodasi, ruang mesin, dll. Disamping itu, juga meliputi perencanaan penempatan lokasi ruangan beserta aksesnya. Rencana umum dibuat berdasarkan lines plan yang telah dibuat sebelumnya. Dengan lines plan secara garis besar bentuk badan kapal akan terlihat sehingga memudahkan dalam merencanakan serta menentukan pembagian ruangan sesuai dengan fungsinya masing-masing.

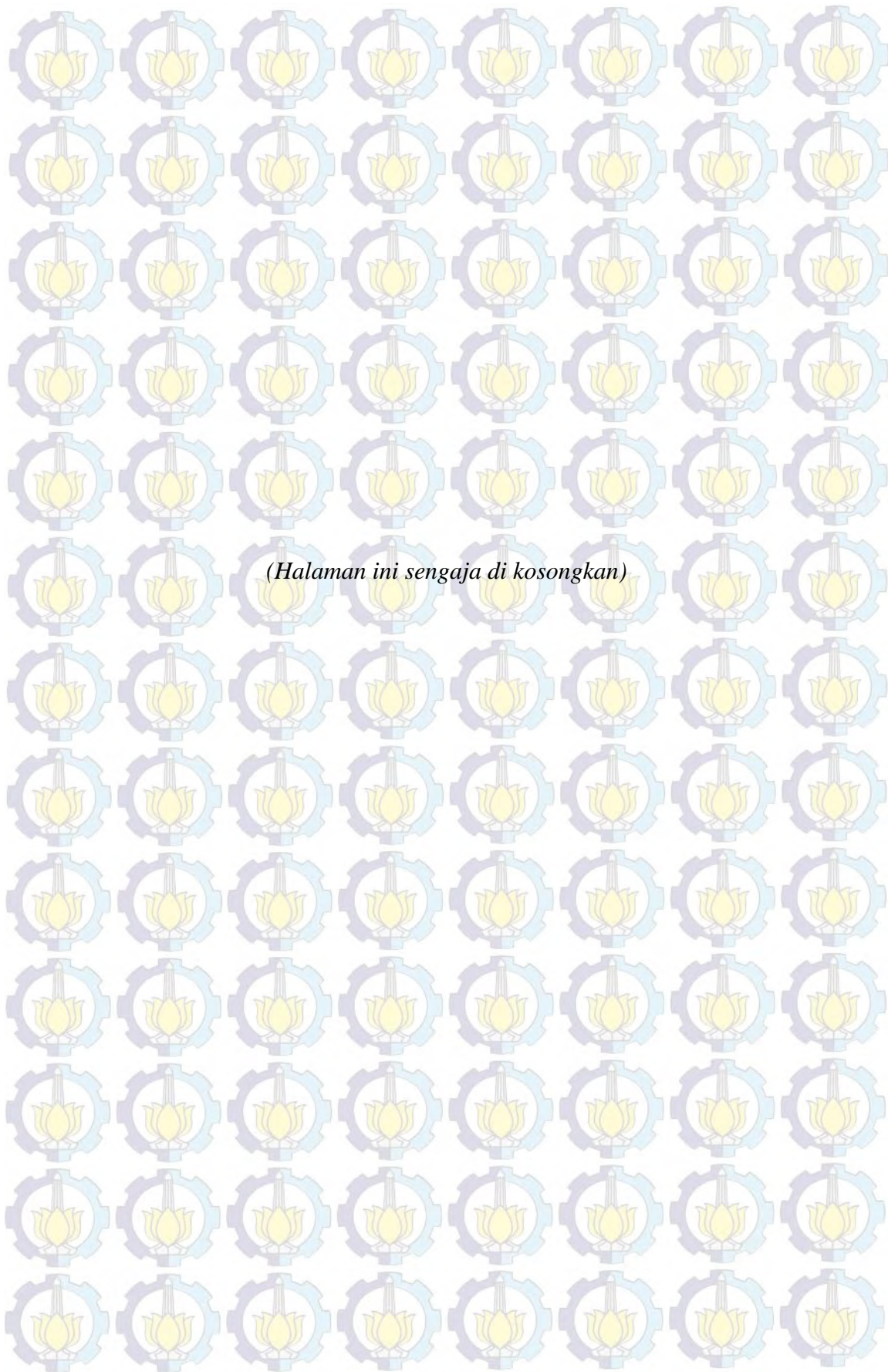
7. Kesimpulan dan Saran

Setelah semua tahapan selesai dilaksanakan, selanjutnya ditarik kesimpulan dari analisa dan perhitungan. Kesimpulan berupa desain awal kapal, ukuran utama optimal, gambar rencana garis, gambar rencana umum serta biaya yang minimal. Saran berisi tentang hal-hal yang dapat dikembangkan dari tugas akhir ini sehingga dapat dijadikan judul tugas akhir selanjutnya serta kekurangan-kekurangan yang terdapat dalam tugas akhir ini.

IV.2. Model Penelitian



Gambar IV.1 Diagram Metodologi Penelitian



(Halaman ini sengaja di kosongkan)

BAB V ANALISIS TEKNIS DAN PEMBAHASAN

V.1. Survey Lapangan

Survey lapangan merupakan salah satu metode pengumpulan data dalam penelitian kualitatif yang tidak memerlukan pengetahuan mendalam akan literatur yang digunakan dan kemampuan tertentu dari pihak peneliti. Penelitian lapangan biasa dilakukan untuk memutuskan ke arah mana penelitiannya berdasarkan konteks. Penelitian lapangan biasa diadakan di luar ruangan.

Dalam Tugas akhir yang dikerjakan ini, Pengambilan data dalam survey lapangan dilakukan di PT.KAI Daerah Operasi VII, Kota Surabaya. Pertimbangan dalam pengambilan data ke tempat ini adalah :

- Tempat lebih dekat
- Menghemat waktu
- Mudah mendapatkan data

Data yang diambil dari PT.KAI adalah Spesifikasi Teknis Kereta Api dan Rel Kereta Api Antara lain :

- Dimensi Lokomotif dan Gerbong Kereta Api
- Berat Lokomotif dan Gerbong Kereta Api
- Dimensi dan Berat Rel Kereta Api

Dari data tersebut, dapat dijadikan tolok ukur untuk membuat desain awal.

➤ L Lokomotif	: 14.135	m
➤ B Lokomotif	: 2.642	m
➤ Berat Lokomotif	: 90	Ton
➤ L Gerbong	: 20	m
➤ B Gerbong	: 2.990	m
➤ Tinggi Gerbong	: 3.7	m
➤ Berat Gerbong	: 37	Ton
➤ B Rel Kereta	: 1.067	m
➤ Berat Rel Kereta per Meter	: 25	Kg

V.2. Desain Awal

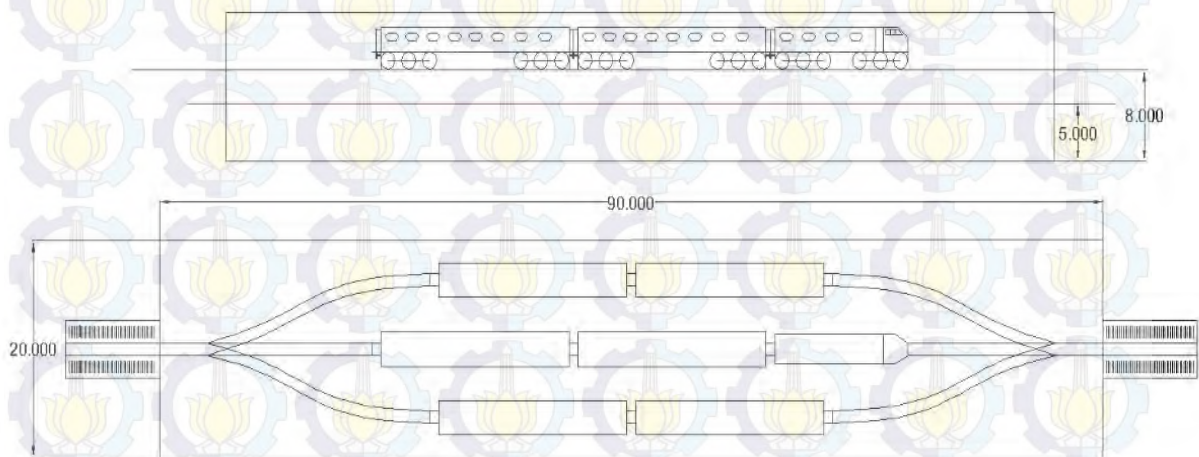
Dari data tersebut tadi, dibuat desain awal kapal. Tujuan pembuatan desain awal ini untuk mencari ukuran awal kapal yang dapat digunakan untuk perhitungan mencari ukuran utama kapal. Ukuran awal kapal dari desain awal adalah :

- $L_0 = 90 \text{ m}$

- $B_0 = 20 \text{ m}$

- $H_0 = 8 \text{ m}$

- $T_0 = 5 \text{ m}$



Gambar V.1 Desain Awal

Perbandingan ukuran kapal berpengaruh besar terhadap kapal. Berikut adalah pengaruh perbandingan tersebut.

- Perbandingan L/B kapal

Nilai semakin besar untuk kapal dengan kecepatan tinggi dan perbandingan ruangan yang baik, tetapi mengurangi stabilitas kapal.

- Perbandingan L/H kapal

Nilai semakin besar dapat mengurangi kekuatan memanjang kapal.

- Perbandingan B/T kapal

Nilai semakin besar dapat menambah stabilitas kapal.

- Perbandingan H/T kapal

Nilai ini berhubungan dengan daya apung cadangan di kapal (Freeboard). Nilai besar

dapat dijumpai di kapal kargo dan penumpang. Sedangkan nilai kecil dapat dijumpai di kapal tanker.

Dari perhitungan ukuran yang optimal didapat perbandingan ukuran kapal (Raharja, 2014) :

$$L_o/B_o = \frac{100.12}{29.30} \quad \text{Persyaratan } 3.2 < L/B < 6.3$$

$$= 3.42 \quad \text{MEMENUHI}$$

$$L_o/H_o = \frac{100.12}{7.33} \quad \text{persyaratan } 6 < L/H < 15$$

$$= 13.65 \quad \text{MEMENUHI}$$

$$B/T = \frac{29.30}{5.25} \quad \text{persyaratan } 2 < B/H < 7.3$$

$$= 5.58 \quad \text{MEMENUHI}$$

$$T/H = \frac{5.25}{7.33} \quad \text{persyaratan } 0.56 < T/H < 0.78$$

$$= 0.71 \quad \text{MEMENUHI}$$

V.3. Perhitungan Awal

V.3.1. Froude Number (Fn)

Adalah sebuah bilangan tak bersatuan yang digunakan untuk mengukur resistensi dari sebuah benda yang bergerak melalui air, dan membandingkan benda-benda dengan ukuran

yang berbeda-beda. Dinamakan sesuai dengan penemunya William Froude. Bilangan ini didasarkan pada kecepatan/beda jarak.

Dari perhitungan ukuran yang optimal didapat harga F_n (Lewis, 1988):

$$F_n = \frac{v}{\sqrt{(g L)}}$$

v = Kecepatan dinas $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

$= 5.67 \text{ m/s}$

$F_n = 0.18$

V.3.2. Koefisien Block (C_b)

Adalah perbandingan Volume yang tercelup dalam fluida dengan panjang, lebar, dan sarat. Dari perhitungan ukuran yang optimal didapat harga C_b (Parsons):

$$C_b = 0.7 + 0.125 \tan^{-1}((23 - 100 F_n)/4)$$

$= 0.81$

V.3.3. Koefisien Midship (C_m)

Adalah perbandingan luas *midship* yang tercelup dalam fluida dengan lebar, dan sarat. Dari perhitungan ukuran yang optimal didapat harga C_m (Parsons):

$$C_m = 0.977 + 0.085 (C_b - 0.6)$$

$= 0.99$

V.3.4. Koefisien Prismatic (C_p)

Adalah perbandingan C_b dengan C_m . Dari perhitungan ukuran yang optimal didapat harga C_p (Dokkum, 2003):

$$C_p = \frac{C_b}{C_m}$$

$= 0.81$

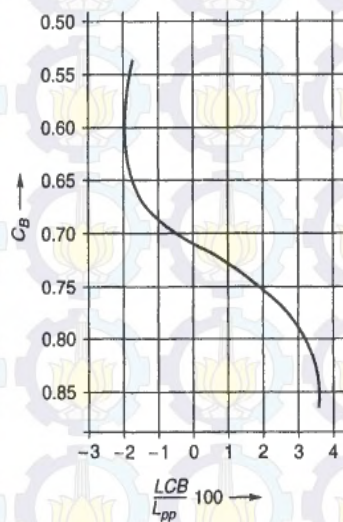
V.3.5. Koefisien Waterplan (Cwp)

Adalah perbandingan luas *waterplan* pada sarat dengan panjang dan lebar. Dari perhitungan ukuran yang optimal didapat harga Cwp (Parsons):

$$\begin{aligned} C_{wp} &= 0.18 + 0.86 C_p \\ &= 0.88 \end{aligned}$$

V.3.6. Length Center of Buoyancy (Lcb)

Adalah jarak titik gaya angkat secara memanjang. Dari perhitungan ukuran yang optimal didapat harga Lcb (Schneekluth, 1998):



Gambar V.2 Grafik % LCB-CB

persentase Lcb

$$\% \text{ Lcb} = 1.77$$

Lcb diukur dari midship

$$\text{Lcb} = \% \text{ Lcb} \times (L/100)$$

$$L = L_{pp} = 90 \text{ m}$$

maka

$$\text{Lcb} = 1.77 \text{ m dibelakang midship}$$

Lcb diukur dari Fp

$$\text{Lcb} = (0.5 \times L) - \text{Lcb dari midship}$$

$$= 48.29 \text{ m dari Fp}$$

V.3.7. Displacement

(Dokkum, 2003)

Volume displacement :

$$V = L_{pp} \times B \times T \times C_b$$
$$= 3550.62 \text{ m}^3$$

Berat Displacement

$$\Delta = V \times \gamma$$
$$\gamma = 1.025 \text{ ton/m}^3$$

$$\Delta = 3639.388 \text{ ton}$$

V.4. Hambatan

Perhitungan hambatan kapal pada Tugas Akhir ini menggunakan metode Holtrop & Mennen, dengan pembagian komponen hambatan total menjadi beberapa komponen, yaitu hambatan gesek dan hambatan gelombang (wave making resistance).

V.4.1. Hambatan Gesek

a) Viscous Resistance

Koefisien hambatan kekentalan dari hasil perhitungan adalah :

- $C_{FO} = 0.00167$
- $(1 + K1) = 1.7814$

b) Appendage Resistance

Koefisien hambatan akibat tonjolan badan kapal adalah :

- $(1 + k2) = 1.9311$

c) Hambatan gesek

Koefisien hambatan gesek secara keseluruhan adalah :

- $(1 + k) = 1.78$

V.4.2. Hambatan Gelombang

Hambatan gelombang terjadi karena adanya gesekan antara badan kapal dengan gelombang yang terjadi karena bergeraknya kapal. Koefisien hambatan gelombang yang didapat dari perhitungan adalah sebagai berikut :

$$R_w / W = 1.9E-04$$

V.4.3. Hambatan Total

Hambatan total didapat dengan menjumlahkan beberapa harga dari masing – masing komponen yang dijelaskan di atas. Diketahui rumus hambatan total adalah :

$$RT = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot Stot \cdot (CF (1 + k) + CA) + W$$

(Lewis, 1980)

Dengan rumus di atas, maka didapatkan harga hambatan total kapal sebagai berikut :

$$\begin{aligned} RT &= 208042.45 \text{ N} \\ &= 208.04 \text{ KN} \end{aligned}$$

V.5. Machinery

Untuk pemilihan motor induk dari suatu kapal, maka dibutuhkan perkiraan daya dari motor induk agar bisa beroperasi dengan baik sesuai dengan kebutuhan. Daya motor induk dapat diperkirakan dengan mempergunakan hasil perhitungan hambatan total kapal, dengan mengambil data mesin dari catalog produk. Berikut daya mesin yang dibutuhkan.

$$EHP = 1603.96Hp$$

$$DHP = 2506.65Hp$$

$$BHP = 3210.31Hp$$

$$= 2361.22Kw$$

Mengacu pada power mesin yang dibutuhkan seperti di atas, maka mesin yang dipilih harus memenuhi kebutuhan daya tersebut.

V.6. Perhitungan Massa dan Titik Pusat Massa DWT

Bobot mati kapal terdiri dari payload atau muatan bersih, consummable dan crew. Payload berharga 90% dari DWT (Panunggal, 2006), consummable terdiri dari bahan bakar

(fuel oil), minyak pelumas (lubrication oil), minyak diesel (diesel oil), air tawar (fresh water) dan barang bawaan (provision and store). Setelah berat diketahui maka dilakukan perhitungan titik berat DWT untuk mencari harga KG.

V.7. Crew dan Consummable

a) Jumlah dan Berat Crew

Jumlah Crew merupakan fungsi dari besarnya kapal dan daya mesin yang dibutuhkan. Dengan formula sebagai berikut :

$$ZC = Cst \cdot Cdk \cdot (L B H \cdot 35 / 105)^{1/6} + Ceng (BHP / 105)^{1/3} + cadet$$

(Parson, 2001)

Dari formula tersebut didapatkan jumlah crew sebanyak 18 orang, sedangkan berat crew dan perlengkapannya di asumsikan sebesar 0,17 ton/orang. Sehingga dapat dihitung perkiraan total berat crew sebesar 3,06 ton.

b) Berat Consumable

Dari rumus – rumus pendekatan yang ada, didapatkan jumlah berat consumable sebagai berikut :

Fuel Oil = 1.70 ton

Diesel Oil = 0.26 ton

Lubrication Oil = 20 ton

Fresh Water = 16.64 ton

Provision & Store = 0.03 ton

Pendekatan berat consumable di atas didapat dengan formula sebagai berikut:

- Fuel oil
- WFO = SFR . MCR . range / Vs . margin.

- Diesel Oil
- WDO = CDO . WFO

$$\text{CDO} = 0,1 \rho 0,2$$

•	Lubrication oil						
	WLO	= 20 ton					
•	Fresh water						
	WFW1	= 0,17 ton/ person.day					
	(Parson, 2001)						

c) Volume consumable dapat diketahui dari mengalikan berat kebutuhan dibagi dengan massa jenisnya masing – masing.

Fuel Oil	($\rho = 0,95$)	= 46.740	Liter
Diesel Oil	($\rho = 0,85$)	= 7.840	Liter
Lubrication Oil	($\rho = 0,9$)	= 23.110	Liter
Fresh Water	($\rho = 1$)	= 36.960	Liter

V.8. Titik Berat

a) Crew
Titik berat crew dapat diketahui dengan menentukan susunan crew pada tiap geladak. Dari susunan crew tiap geladak tersebut, maka dapat diketahui berat crew tiap ruang, maka diketahui titik berat crew sebagai berikut.

Tabel V.1.Titik Berat Crew

Titik Berat Crew		
KG	KG I	6.50
	KG II	9.00
	KG III	11.50
LCG	LCG I	92.98
	LCG II	89.68
	LCG III	88.48
Titik berat	KG	8.11
	LCG	91.31

b) Air Tawar :

Dalam perencanaannya tangki air tawar di letakkan di belakang sekat ceruk buritan dan di atas garis air dengan dimensi dan titik beratnya sebagai berikut :

Tabel V.2.Titik Berat air tawar

Titik berat air tawar		
Dimensi tangki	t_{FW}	2.08
	l_{FW}	19.05
	p_{FW}	0.44
Titik Berat	KG_{FW}	8.36
	LCG_{FW}	100.34

c) Lubrication Oil :

Tangki Lubrication oil diletakkan di depan sekat kamar mesin dan di dalam double bottom dengan dimensi dan titik beratnya sebagai berikut :

Tabel V.3 Perencanaan Tangki Lubrication Oil

Titik berat lubrication oil		
Dimensi tangki	$t_{LO} = h_{db}$	1.67
	l_{LO}	14.65
	p_{LO}	0.95
Titik Berat	KG_{LO}	0.83
	LCG_{LO}	81.71

d) Diesel Oil :

Tangki Diesel Oil di letakkan di belakang sekat depan kamar mesin dengan dimensi dan titik beratnya sebagai berikut :

Tabel V.4 Perencanaan Tangki Diesel Oil

Titik berat diesel oil		
Dimensi tangki	$t_{DO} = h_{db}$	1.67
	l_{DO}	19.05
	p_{DO}	0.01
Titik Berat	KG_{DO}	0.83
	LCG_{DO}	80.48

e) Fuel Oil :

Tangki Fuel oil diletakkan di depan sekat kamar mesin. dengan dimensi dan titik beratnya sebagai berikut :

Tabel V.5 Tabel Perencanaan Fuel Oil

Titik berat fuel oil		
Dimensi tangki	$t_{FO} = h_{db}$	1.67
	l_{FO}	19.05
	p_{FO}	0.06
Titik Berat	KG_{FO}	0.83
	LCG_{FO}	79.69

f) Titik Berat Consumable

Dari titik berat masing-masing komponen consumable dapat di hitung titik berat total consumable dengan harga sebagai berikut.

- $KG = 4.492$
- $LCG = 90.34$

V.9. Perhitungan Massa dan Titik Pusat Massa LWT

Lightweight adalah berat kapal kosong tanpa adanya muatan dan consumable. Hanya berat baja yang membentuk badan kapal, peralatan, perlengkapan dan permesinan saja. Untuk memudahkan dalam mendapatkan nilai pendekatan, maka akan Lightweight dibagi menjadi kedalam beberapa bagian yaitu berat badan kapal dan berat peralatan dan perlengkapan.

V.9.1. Berat Baja kapal

Berat baja badan kapal dibagi menjadi dua bagian, yaitu berat lambung kapal dan berat rumah geladak.

a). Berat baja lambung kapal

Dari rumus pendekatan yang ada, diketahui bahwa berat lambung kapal adalah sebagai berikut :

$$W_{StR} = \nabla u \cdot C_1$$

$$\nabla u = \nabla_D + \nabla_s + \nabla_b + \nabla_L \quad (\text{Schneekluth \& Bertram, 1998})$$

- ∇_D = volume lambung sampai main depth

$$= 17749.06 \text{ ton}$$

- ∇_s = pertambahan volume akibat sheer

= karena kapal tidak menggunakan sheer, maka pertambahan volume karena sheer diabaikan.

- ∇_b = pertambahan volume akibat chamber

$$= 994.05 \text{ ton}$$

- ∇u = total volume di bawah geladak teratas

$$= 18743.11 \text{ ton}$$

Untuk Train Ferry ship ($L = 60 - 180 \text{ m}$) dengan $L/D \geq 9$, nilai C_1 ditentukan dengan formula :

$$C_1 = 0.103 \cdot [1 + 17 \cdot (L/1000 - 0.11)^2]$$

$$= 0,1032$$

dari kedua rumus di atas maka didapatkan besarnya berat baja lambung kapal sebesar 1600.44 ton. dan Koreksi berat lambung kapal karena double bottom ,pondasi mesin dan *bulkhead* adalah sebagai berikut :

- Berat Double bottom = 317.61

- Berat Bulkhead = 40.01

- Berat Pondasi mesin = 4.59

Setelah dilakukan koreksi dengan menambahkan ketiga komponen berat di atas, maka berat baja lambung kapal secara keseluruhan adalah sebesar 1962.65 ton.

b). Berat *Deckhouse* dan *Forecastle*

Dengan menggunakan acuan jumlah crew, maka dimensi deckhouse diasumsikan sama dengan kapal pembanding dengan jumlah crew yang sama.

Tabel V.6 Perencanaan Dimensi dan Berat Deckhouse

Berat Deckhouse				
	Layer I	Layer II	Layer III	Wheelhouse
C_{DH}	0.086	0.084	0.078	0.080
l_d	21.60	15.00	12.60	11.40
b_d	27.30	25.30	23.30	21.30
h	2.5	2.5	2.5	2.5
F_u	294.87	189.77	146.81	121.43
K_1	0.998	0.998	0.998	0.998
f_i	21.38	14.85	12.474	11.286
K_2	0.9156	0.95	0.960	0.966
K_3	0.942	0.942	0.942	0.942
$G_{DH II}$	54.60	35.54	25.853	22.07
SG_{DH}	138.06			
Total Steel Weight	2137.38			

Tabel V.7 Perencanaan Dimensi dan Berat Forecastle

Berat Superstructure		
Berat forecastle (WFC)	l_f	10.01
	b_f	29.30
	t_f	2.5
	V_{FC}	366.727
	C_{FC}	0.1
	W_{FC}	36.67
Total Berat		36.67

c). Total Berat Baja Kapal

Total berat baja badan kapal dapat dihitung dengan menjumlahkan berat lambung kapal, berat *deckhouse* dan berat *forecastle*, yaitu sebesar 2137.38 ton.

V.9.2. Berat Peralatan dan Perlengkapan

Komponen berat peralatan dan perlengkapan dibagi menjadi 3 grup yaitu :

a. Komponen Rel Kereta api

Tabel.V.8 Komponen Rel Kereta Api

Grup I	
panjang rel	100.12
jumlah rel	6
L/Segmen	25kg/m
Berat Rel	15.018

Keterangan:

- Pembagian jumlah rel kereta api menjadi 6 lintasan, dimana untuk satu lintasan kereta api terdapat 2 rel.
- Berat total rel kereta api adalah 15.018 Ton.

b. Ruang Akomodasi

Tabel.V.9 Perencanaan Ruang Akomodasi

Grup II				
	Layer II	Layer III	Layer IV	Wheelhouse
Ip	21.60	15.00	12.60	11.40
bp	27.30	25.30	23.30	21.30
A _{LVp}	589.74	379.55	293.62	242.85
W _{LV p}	53.08	34.16	26.43	21.86
C _{LV}	90		Berat E&O	320.59
W _{LV Total}	135.52		Total	

Ket :

$$W_{LV} = C_{VLV} \cdot V_{LV} \cdot 10^{-3} \quad [\text{ton}]$$

$$A_{LV} = \text{luas geladak akomodasi}$$

$$V_{LV} = \text{Volume poopdeck \& deckhouse}$$

$$C_{ALV} : 180 - 200 \text{ kg/m}^2$$

$$C_{VLV} : 80 - 90 \text{ kg/m}^3$$

Tabel diatas merupakan perencanaan peralatan dan perlengkapan yang berada di ruang akomodasi yang terdiri dari :

- o Cabin dan corridor wall : \Rightarrow jika tidak terbuat dari baja

- o Deck covering, wall and deck ceiling dengan insulasi
- o Sanitary installation and associated pipes
- o Door, window, portholes
- o Heating, ventilation, air – conditioning and associated pipes and trunking
- o Kitchen, household, and steward inventory
- o Furniture, accommodation inventory
- o Perhitungan berat E&O pada living quarter didasarkan pada fungsi luas geladak akomodasi atau volume deckhouse.

c. Miscellaneous

Tabel V.10 Perencanaan Miscellaneous

Grup III	
C	0.22
W _{IV}	170.05

Grup ini terdiri dari :

- a. Anchors, chains, hawser.
- b. Anchor – handling, and mooring winches, chocks, bollard, hawse pipes.
- c. Steering gear, wheelhouse console, control console (excluding rudder body)
- d. Refrigeration plant.
- e. Protection, deck covering outside accommodation area.
- f. Davits, boats and life crafts plus mounting.
- g. Railings, gangway, ladder, stairs, ladders, doors, (outside accommodation area), manhole cover.
- h. Awning support, tarpaulins.
- i. Fire – fighting equipment, CO2 system, fire proofing.
- j. Pipes, valves, and sounding equipment (outside the engine room and accommodation area.
- k. Hold ventilation system.
- l. Nautical devices and electronic apparatus, signaling system.
- m. Boatwain's inventory.

V.9.3. Total Berat (LWT)

Total LWT (*Lighweight*) dihitung dengan menjumlahkan berat baja kapal dan berat peralatan dan perlengkapan.

Berat baja kapal = 2137.38 ton

Berat peralatan dan perlengkapan = 320.59 ton

Total berat LWT = 2745.82 ton

V.9.4. Titik Berat Baja

Hasil perhitungan titik berat baja dihitung dengan menggunakan rumus pendekatan dapat dilihat dalam tabel dibawah ini.

Tabel V.11 KG Baja

Lambung Kapal		Ds	9.4936667
		KG _{STR}	5.54
Superstructure	Forecastle	KG _{FC}	1.75
Deckhouse	Layer I	KG _{DH II}	11.58
	Layer I	KG _{DH III}	13.98
	Layer III	KG _{DH IV}	16.38
	Wheelhouse	KG _{DH Wh}	18.78
Titik Berat Baja	Hull	WStR x KG _{STR}	10873.34
	Forecastle	W x KG _{FC}	64.18
	Layer I	W x KG _{DH II}	631.94
	Layer II	W x KG _{DH III}	496.72
	Layer III	W x KG _{DH IV}	423.34
	Wheelhouse	W x KG _{DH Wh}	414.31
KG steel weight		Σ W x KG / Σ W	5.64

Tabel V.12 LCG Baja

LCG steel weight		
LCG	1.766	%
LCG	1.77	[m]
LCG	55.73	dr FP

V.9.5. Titik Berat Equipment & Outfitting

Titik berat equipment & outfitting secara keseluruhan dapat dilihat dari tabel dibawah ini :

Tabel V.13 Titik Berat Equipment and Outfitting

Titik Berat				
	Layer I	Layer II	Layer III	Wheelhouse
Id	21.60	15.00	12.60	11.40
bd	27.30	25.30	23.30	21.30
td	2.50	2.50	2.50	2.50
∇_{II}	1474.36	948.86	734.04	607.14
∇_{DH}	3764.40			
D_A	8.73			
KG_{MO}	9.17			
LCG dari midship	-5.82			
LCG dari FP	55.88			

V.9.6. Titik Berat Machinery

Berat permesinan kapal diasumsikan 25% dari berat *equipment* dan *outfitting*.

Tabel V.14 Titik Berat Permesinan

Titik Berat Machinery Plant	
hdb	1.67
KGm	3.65
Lcb	3.00
LCGm	-42.06
LCGm dr FP	92.12

V.10. Titik Berat (LWT + DWT)

Titik berat kapal secara keseluruhan (LWT + DWT) didapatkan dari perhitungan komponen – komponen dari subbab sebelumnya, yaitu baja lambung kapal, *equipment & outfitting*, machinery, consumable, dan muatan.

Tabel V.15 Titik Berat Gabungan

	Baja	E&O	Machinery	Consumable	Payload
W	2137.38	320.59	287.86	38.63	789
KG	5.64	9.17	3.65	4.49	4.50
LCG	55.73	55.88	92.12	90.34	35.20
LWT [ton]	2745.82	KG			5.53
[LWT + DWT]	3573.46	LCG			56.91

V.11. Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan dari sebuah kapal untuk kembali ke keadaan semula setelah dikenai oleh gaya luar. Kemampuan itu dipengaruhi lengan dinamis (GZ) yang membentuk momen kopel yang menyeimbangkan gaya tekan ke atas dengan gaya berat. Komponen-komponen stabilitas terdiri dari GZ, KG dan GM, ketiga komponen tersebut sangat berperan penting dalam stabilitas.

Tabel V.16 Lengan Statis (Gz)

Heel Angle	GG' sin 1°	b ₁ sin 2°	b ₂ sin 4°	b ₃ sin 6°	GZ	GZ [m]
0	0	0	0	0	0	0.0000
5	-0.3348	1.9947	7.0385	4.9778	13.6762	4.1685
10	-0.6670	3.9288	13.2281	8.6218	25.1117	7.6540
15	-0.9941	5.7435	17.8221	9.9556	32.5271	9.9143
20	-1.3137	7.3837	20.2666	8.6218	34.9584	10.6553
25	-1.6233	8.7996	20.2666	4.9778	32.4206	9.8818
30	-1.9205	9.9480	17.8221	0.0000	25.8497	7.8790
35	-2.2031	10.7943	13.2281	-4.9778	16.8414	5.1333
40	-2.4689	11.3125	7.0385	-8.6218	7.2603	2.2129
45	-2.7160	11.4870	0.0000	-9.9556	-1.1846	-0.3611
50	-2.9424	11.3125	-7.0385	-8.6218	-7.2902	-2.2220
55	-3.1464	10.7943	-13.2281	-4.9778	-10.5580	-3.2181
60	-3.3264	9.9480	-17.8221	0.0000	-11.2005	-3.4139
65	-3.4811	8.7996	-20.2666	4.9778	-9.9703	-3.0389
70	-3.6093	7.3837	-20.2666	8.6218	-7.8704	-2.3989
75	-3.7101	5.7435	-17.8221	9.9556	-5.8331	-1.7779
80	-3.7826	3.9288	-13.2281	8.6218	-4.4601	-1.3594
85	-3.8264	1.9947	-7.0385	4.9778	-3.8924	-1.1864
90	-3.8410	0.0000	0.0000	0.0000	-3.8410	-1.1707

Tabel V.17 Lengan Dinamis

Lengan Dinamis		
	(Ld)	(LD [m.rad])
h	0.0873	
10°	2.3218	0.7077
20°	5.5321	1.6862
30°	5.5411	1.6889
40°	2.9227	0.8908
L _D Total	16.3177	4.9736

$$\begin{aligned} \text{GZ max} &= 10.66 \text{ m} \\ \text{Pada} &= 27^\circ \end{aligned}$$

V.12. Trim

Trim adalah gerakan kapal yang mengakibatkan tidak terjadinya even keel atau gerakan kapal mengelilingi sumbu Y secara tepatnya. Trim ini terjadi akibat dari tidak meratanya momen statis dari penyebaran gaya berat. Trim dibedakan menjadi dua yaitu trim haluan dan trim buritan. Trim haluan yaitu sarat haluan lebih tinggi daripada sarat buritan sedangkan trim buritan adalah keadaan dimana sarat buritan lebih tinggi dari pada sarat buritan.

Tabel V.18 Hidrostatic Properties

Hidrostatic Properties		
KB	KB/T	0.5209
	KB	2.73
BM _T	C _I	0.0657
	I _T	165566.002
BM _L	BM _T	46.63
	C _{IL}	0.0601
	I _L	1768826.23
	BM _L	498.17

Tabel V.19 Kondisi Trim Kapal

Trim	
GM _L	207,77
Trim	0,41
Kondisi	Trim Buritan

V.13. Freeboard

V.13.1.Freeboard standard

Tabel V.20 Freeboard Standart

Type kapal	B	Type B
Freeboard standard	Fb	1271.00

Setelah diketahui freeboard standard, selanjutnya dilakukan koreksi – koreksi terhadap beberapa komponen. Yaitu :

a). Koreksi untuk kapal yang panjang kurang dari 100 m.

Karena kapal yang telah di optimasi mempunyai panjang lebih dari 100 m, maka tidak ada koreksi.

b). Koreksi blok koefisien (C_b)

c). Jika $C_b > 0,68$, maka koreksi freeboard pada freeboard standar harus dikalikan sebesar

$(C_b + 0,68) / 1,36$ yang merupakan penambahan freeboard.

$$+Fb_2 = Fb \left[\frac{(C_b + 0,68)}{1,36} \right] \text{ [mm] } ; Fb = 2895,04 \text{ mm}$$

d). Koreksi tinggi

Tabel V.21 Koreksi Freeboard-Tinggi

R	208.58
+Fb ₃	135.65

Harga pada tabel di atas didapatkan dari rumus sebagai berikut :

$$+Fb_4 = R \cdot (D - L / 15) \text{ [mm] }$$

$$R = 250 \text{ untuk } L > 120 \text{ m}$$

e). Tinggi standart Bangunan Atas dan koreksi bangunan atas

Tabel V.22 Koreksi Freeboard-Bangunan Atas

E	10.01
E [x.L]	0.10
-%Fb	15%
-Fb ₄	-191

f). Total Freeboard

Total freeboard didapat dari menjumlahkan freeboard standar dengan koreksi-koreksi yang ada.

$$\text{Total freeboard} = 1371.46 \text{ mm}$$

$$= 1.37 \text{ m}$$

V.14. Tonase Kapal

a). Gross Tonnage

Tabel V.23 Gross Tonnage

Gross Tonnage	
V_U	5928.74
V_H	4131.13
V	10059.87
K_1	0.2801
GT	2817.28

b). Net Tonnage

Tabel V.24 Net Tonnage

Net Tonnage	
V_c	10765.89
K_2	0.2806
K_3	1.6022
a	2759.19
$a \geq 0.25GT$	yes
NT	2765.93
$NT \geq 0.30GT$	yes

V.15. Biaya

Biaya Investasi terdiri dari biaya material untuk struktur bangunan kapal, biaya peralatan, biaya permesinan.

V.15.1. Structural Cost

Tabel V.25 Structural Cost

W_{ST}	2137.38
C_{ST}	2750.38
P_{ST}	\$5,878,607.78

$$P_{ST} = W_{ST} \cdot C_{ST} \quad [US \$]$$

C_{ST} = Pendekatan biaya berat baja per ton

C_{ST} berdasarkan biaya pada tahun 1993 dan termasuk didalamnya biaya untuk material, tenaga kerja dan overhead. (Watson, 1998)

V.15.2.Outfit cost

Tabel V.26 Outfit Cost

$W_{E\&O}$	320.59
$C_{E\&O}$	17474.76
$P_{E\&O}$	\$5,602,216.52

$$P_{E\&O} = W_{E\&O} \cdot C_{E\&O} \quad [\text{US \$}]$$

$C_{E\&O}$ = Pendekatan biaya berat baja per ton

$C_{E\&O}$ berdasarkan biaya pada tahun 1993 dan termasuk didalamnya biaya untuk material, tenaga kerja dan overhead. (Watson, 1998)

V.15.3.Machinery cost

Tabel V.27 Machinery Cost

W_{ME}	287.86
C_{ME}	17016.79
P_{ME}	\$4,898,394.10

$$P_{ME} = W_{ME} \cdot C_{ME} \quad [\text{US \$}]$$

C_{ME} = pendekatan biaya berat baja per ton

C_{ME} berdasarkan biaya pada tahun 1993 dan termasuk didalamnya biaya untuk material, tenaga kerja dan overhead. (Watson, 1998)

V.15.4.Non weight cost [PNW]

Biaya ini merupakan biaya – biaya uang tidak dapat dikelompokkan dengan ketiga grup biaya sebelumnya. Contohnya :

- Biaya untuk drawing office labour and overhead.
- Biaya untuk biro klasifikasi dan Departemen Perhubungan.
- Biaya consultansi.
- Biaya tank test.
- Models cost
- Launch expenses
- Biaya lain – lain.

Untuk kapal yang dirancang digunakan $C_{NW} = 10\%$ dari total biaya pembangunan untuk kapal atau galangan besar.

V.15.5.Total Cost

Biaya pembangunan kapal didapatkan dari menjumlahkan structural cost, outfitting cost, Machinery cost dan non weight cost.

$$\begin{aligned} \text{Cost} &= P_{ST} + P_{E\&O} + P_{ME} + P_{NW} \\ &= \$17.656.797.44 \end{aligned}$$

Tabel V.28 Total Biaya

Perhitungan Biaya		
Structural Cost	W_{ST}	2137.38
	C_{ST}	2750.38
	P_{ST}	\$5,878,607.78
Outfit Cost	$W_{E\&O}$	320.59
	$C_{E\&O}$	17474.76
	$P_{E\&O}$	\$5,602,216.52
Machinery Cost	W_{ME}	287.86
	C_{ME}	17016.79
	P_{ME}	\$4,898,394.10
Non Weight Cost	C_{NW}	10%
	P_{NW}	\$1,637,921.84
Cost	[US \$]	\$17,656,794.44

V.16. Batasan

V.16.1.Hukum Archimedes

Sesuai dengan Hukum Archimedes bahwa benda yang dicelupkan kedalam air akan mendapat gaya tekan ke atas sebesar berat air yang dipindahkan. Jadi, untuk bisa mengapung, maka berat sebuah kapal harus sama dengan besar gaya angkatnya. Sehingga diberikan batasan untuk selisih antara displacement dan berat kapal sebesar 5%.

Tabel V.29 Batasan Displacement

Δ	3639.39	
LWT	2745.82	
Payload	789	
Consumable	Fuel Oil	1.70
	Diesel Oil	0.26
	Lubrication Oil	20
	Fresh Water	16.64
	Provision & store	0.03
	Consumable	38.63
Crew	24.03	
DWT	851.66	
LWT + DWT	3597.49	
Selisih	41.90	
Selisih	1.16%	
Kondisi	Accepted	

$$\Delta = \text{LWT} + \text{DWT}$$

$$\text{LWT} = \text{Total berat baja} \quad [\text{ton}]$$

$$\text{DWT} = \text{Payload} + \text{Consumable} + \text{Crew} \quad [\text{ton}]$$

$$\text{Toleransi selisih } \Delta \text{ dengan } [\text{LWT} + \text{DWT}] \leq 5 \%$$

V.16.2. Batasan Untuk Stabilitas

Batasan untuk stabilitas ditentukan berdasarkan kriteria yang tertera pada IMO. Pada tabel dibawah dapat dilihat hasil yang didapatkan dari perhitungan.

Tabel V.30 Batasan Stabilitas

Kriteria	Harga	Kondisi
$e_{0.30}^{\circ} \geq 0.055$	1.6889	Accepted
$e_{0.40}^{\circ} \geq 0.09$	0.8908	Accepted
$e_{30,40}^{\circ} \geq 0.03$	0.2019	Accepted
$h_{30}^{\circ} \geq 0.2$	7.879	Accepted
$\phi_{\max} \geq 25^{\circ}$	26.60	Accepted
$GM_0 \geq 0.15$	161.18	Accepted
Status	49.13	OK

Dari tabel di atas dapat disimpulkan bahwa stabilitas kapal dalam kondisi memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. $e_{0,30} \geq 0,055 \text{ m.rad}$

2. Luas gambar dibawah kurva dengan lengan penegak GZ pada sudut $30^\circ > 0,055 \text{ meter.rad}$

3. $e_{0,40} \geq 0,09 \text{ m.rad}$

4. Luas gambar dibawah kurva dengan lengan penegak GZ pada sudut $40^\circ > 0,09 \text{ meter. rad}$

5. $e_{30,40} \geq 0,03 \text{ m.rad}$

6. Luas gambar dibawah kurva dengan lengan penegak GZ pada sudut $30^\circ - 40^\circ > 0,03 \text{ meter}$

7. $h_{30} \geq 0,2 \text{ m}$

8. Lengan penegak GZ paling sedikit 0,2 meter pada sudut oleng 30° atau lebih.

9. h_{\max} pada $\phi_{\max} \geq 25^\circ$

10. Lengan penegak maksimum sebaiknya pada sudut oleng lebih dari 30° dan tidak boleh kurang dari 25°

11. $GM_0 \geq 0,15 \text{ m}$

12. Tinggi Metasentra awal GM_0 tidak boleh kurang dari 0,15 meter.

V.16.3. Batasan Untuk Freeboard

$$\text{Actual freeboard} \geq \text{freeboard minimum}$$

Freeboard minimum yaitu freeboard hasil perhitungan menurut International load Lines Convention 1966 & protocol 1988. Kondisi accepted merupakan kondisi dimana $\text{actual freeboard} \geq \text{freeboard minimum}$.

Dari hasil perhitungan didapatkan freeboard sebesar 3,38 m sedangkan actual freeboard sebesar 3,67 m. Karena actual freeboard lebih besar dari freeboard minimum, maka kapal yang dirancang dalam Tugas Akhir ini memenuhi batasan freeboard.

Tabel V.31 Batasan Freeboard

Total Freeboard	Fb' [mm]	3383.00
	Fb' [m]	3.38
Minimum Bow Height	Bwm [mm]	5577.47
	Bwm [m]	5.58
Actual Freeboard	Fba	3.67
Kondisi	(Fba - Fb')	Accepted

V.16.4. Batasan Trim

Batasan trim berdasarkan harga mutlak selisih harga LCB dan LCG harus kurang dari $0,1\%Lpp$, bisa diperbaiki dengan menggeser letak tangki-tangki berdasarkan rencana umum awal.

Dari hasil perhitungan didapatkan :

Tabel V.32 Batasan Trim

batasan trim		
selisih	LCG & LCB	0.377
0.1%Lpp		0.501
yes/no		Accepted

Karena selisih antara LCG dan LCB kurang dari $0,1\%$ LPP, maka kapal yang dirancang memenuhi batasan trim.

V.17. Optimasi

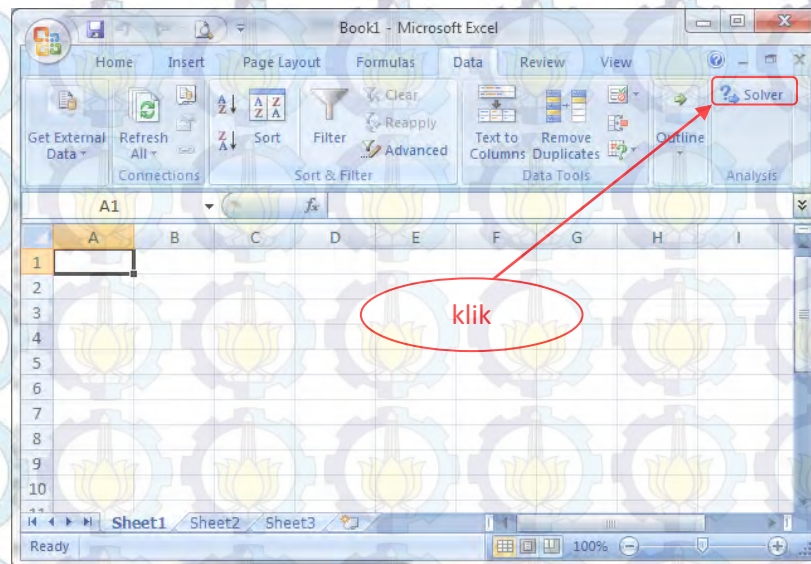
Persamaan matematis untuk memecahkan masalah matematis. Hasil dari pemecahan masalah matematis tersebut yang dinyatakan di model matematis merupakan cara atau langkah yang terbaik untuk memecahkan kasus optimisasi.

Dalam mencari ukuran utama optimal, menggunakan *tool solver* yang ada di *microsoft excel*. *Solver* merupakan *tool* yang memungkinkan untuk dapat menghitung nilai yang dibutuhkan untuk mencapai hasil yang terdapat pada satu sel atau sederet sel (*range*). Dengan kata lain *Solver* dapat menangani masalah yang melibatkan banyak sel variabel dan membantu mencari kombinasi variabel untuk meminimalkan atau memaksimalkan satu sel target. *Solver* memungkinkan untuk mendefinisikan sendiri suatu batasan atau kendala yang harus dipenuhi agar pemecahan masalah dianggap benar.


V.17.1. Langkah Proses Optimasi

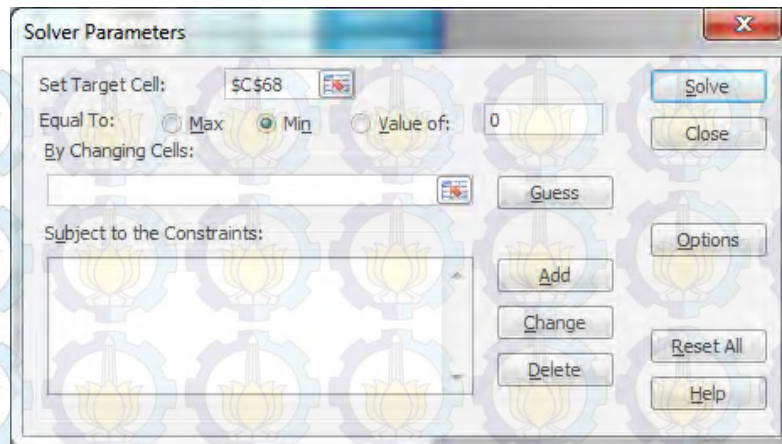
Setelah model optimasi selesai dibuat, langkah selanjutnya adalah menjalankan (*running*) model optimasi tersebut dengan software Solver pada Microsoft Excel. Langkah-langkah untuk menjalankan model optimasi pada Solver adalah sebagai berikut:

1. Pilih (klik) Solver pada pojok paling kanan dari menu bar Data di Microsoft Excel 2007. Jika Solver belum terinstall maka perlu dilakukan proses install Solver. Langkah install Solver adalah klik icon pojok kiri atas, pilih Excel Option, pilih Add-Ins, lalu pilih Solver Add-In. Saat proses install selesai dilakukan maka tampilan Microsoft Excel akan tampak seperti pada gambar di bawah ini.



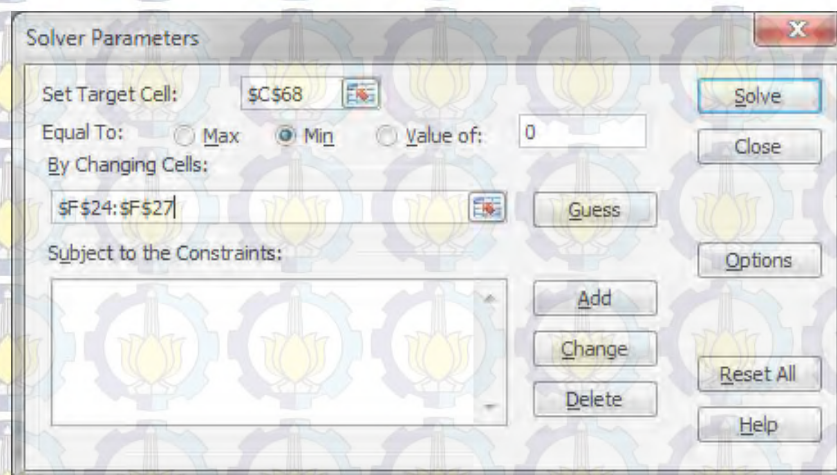
Gambar V.3 Tampilan Microsoft Excel 2007 dengan Solver Add-In terinstall

2. Menentukan **Target Cell**, dan menentukan nilai *target cell* apakah nilai maksimal, minimal, atau dapat kita tentukan sendiri besarnya nilai *target cell* tersebut. Penentuan maksimal atau minimal sesuai dengan tujuan optimasi kita apakah akan dicari nilai *objectif function* minimal atau maksimal. Tujuan dari proses optimasi dalam Tugas Akhir ini adalah meminimalkan *building cost* kapal. Klik  untuk memilih *target cell* pada model optimasi dan pilih **Min** pada **Equal To**. Setelah langkah di atas selesai dilakukan maka tampilan Solver akan seperti terlihat pada gambar di bawah ini.



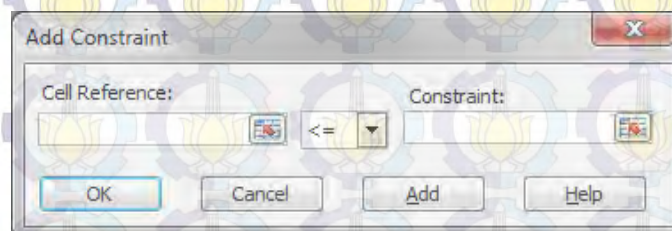
Gambar V.4 Tampilan setelah Target Cell dan nilai minimal ditentukan

3. Menentukan **Changing Cells** pada model optimasi. Changing Cells yang dimaksud adalah *variable* yang akan dicari nilainya dengan proses optimasi. Maka Changing Cells terdiri letak *cell* ukuran utama kapal awal atau *initial value*.



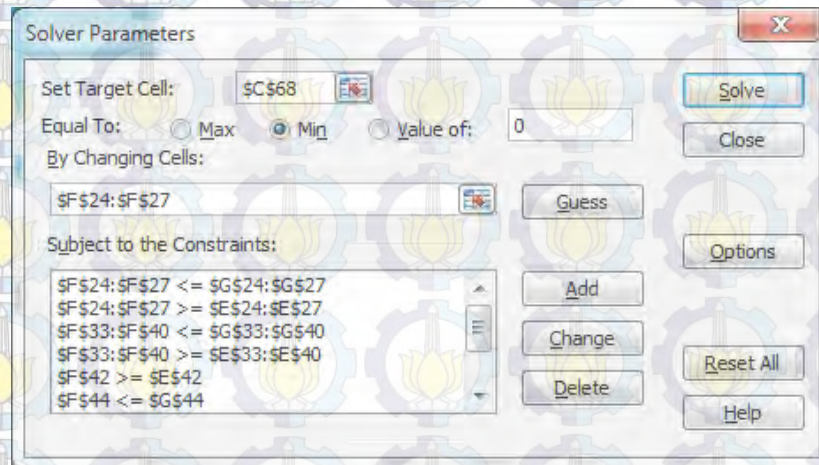
Gambar V.5 Tampilan Solver Parameters setelah *changing cells* ditentukan

4. Input *constraint*. *Constraint* merupakan batasan-batasan yang telah ditentukan dalam model optimasi. Langkah yang dilakukan untuk proses *input constraint* adalah memilih tombol **Add** pada bagian **Subject to the Constraints**.



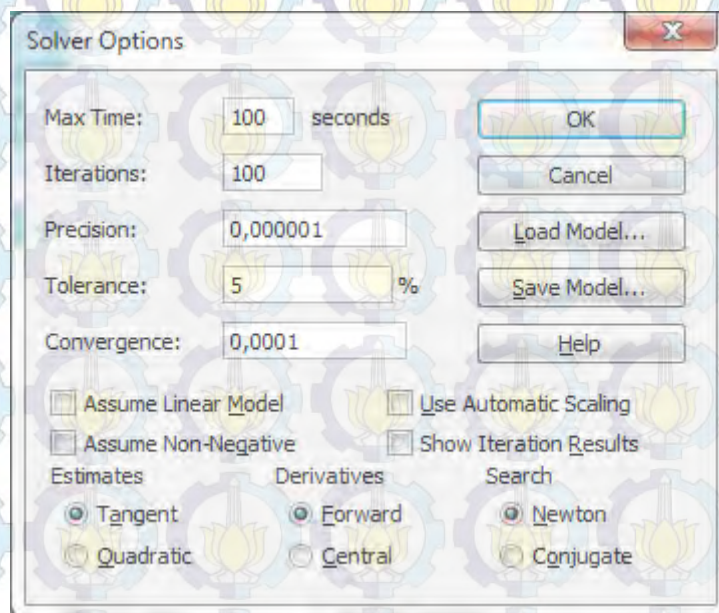
Gambar. V.6 Tampilan Solver untuk *input constraint*

Constraint harus diinput satu-persatu dengan menentukan nilai *constraint* tersebut apakah kurang dari sama dengan (\leq), lebih dari sama dengan (\geq), atau sama dengan ($=$).



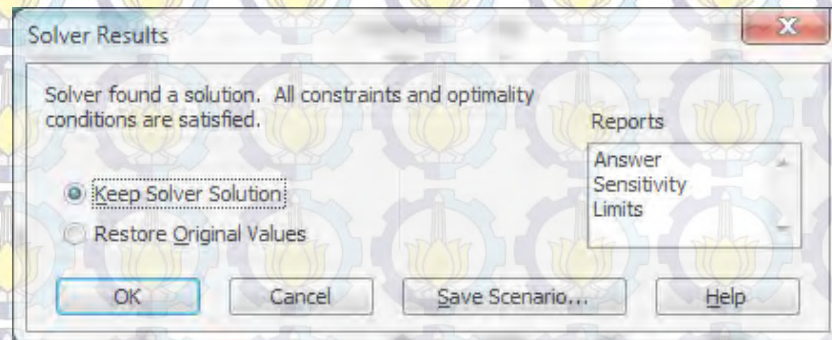
Gambar V.7 Tampilan Solver setelah *constraint* dalam model dimasukkan

5. Pengecekan Solver Option. Setelah *target cell*, *changing cells*, serta *constraints* ditentukan langkah selanjutnya adalah melakukan pengecekan terhadap nilai **Max Time**, **Iterations**, **Precision**, **Tolerance**, dan **Convergence** sebelum dilakukan proses *running* Solver. Dalam Solver Options juga dapat dilakukan pengaturan-pengaturan lainnya seperti pemilihan *linear* atau *non-linear model*. Klik **Options** pada tampilan awal Solver untuk menampilkan **Solver Options**.



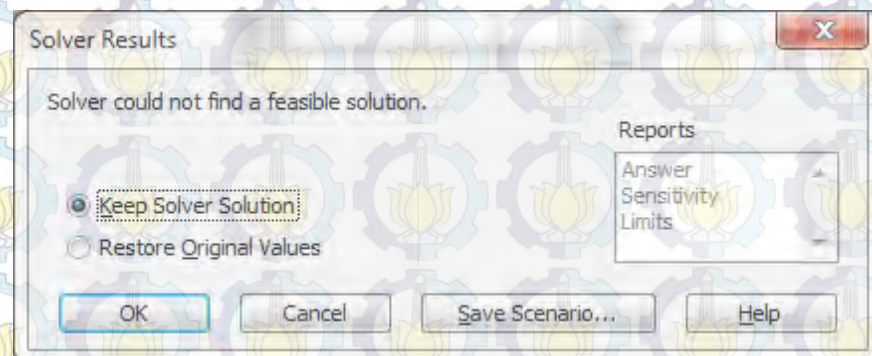
Gambar V.8 Tampilan Solver Options

6. Setelah pengecekan dan pengaturan Solver Options selesai langkah selanjutnya adalah *running* Solver. Untuk *running* Solver klik tombol **Solve** pada tampilan awal Solver. Tunggu sampai proses iterasi selesai dan nilai *variable* didapat. Jika semua *constraint* memenuhi maka akan keluar *dialog box* seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar V.9 *Dialog box* ketika Solver menemukan kombinasi *variable* yang optimal

7. Jika Solver tidak dapat menemukan kombinasi *variable* yang optimal langkah yang dapat dilakukan adalah dengan mengubah nilai-nilai pada Solver Options.



Gambar V.10 *Dialog box* ketika Solver tidak menghasilkan hasil yang optimal

8. Untuk memperoleh kombinasi *variable* serta hasil iterasi Solver yang telah di *running* dapat dilihat dengan mengklik **Answer**, **Sensitivity**, dan **Limits** pada **Report box**.

V.17.2. Hasil Optimasi

Hasil optimasi berupa ukuran utama kapal optimal yang memenuhi semua *constraint* (batasan) mulai dari batasan ukuran utama kapal, batasan perbandingan ukuran utama, batasan stabilitas, hukum *Archimedes*, *trim*, *tonnage*, serta *freeboard*. Hasil optimasi menggunakan *Solver* adalah sebagai berikut:

Tabel V.33 Hasil optimasi yang didapat dari Solver

no	dimensi	besar	satuan
1	L	100.12	m
2	B	29.30	m
3	T	5.25	m
4	H	7.33	m

Dari ukuran utama kapal optimal yang didapat, langkah selanjutnya adalah melakukan pembuatan *lines plan* dan perhitungan teknis yang meliputi perhitungan hambatan kapal, daya, berat kapal, *trim*, *freeboard*, *tonnage*, dan stabilitas kapal.

V.18. Pembuatan Lines Plan

Lines plan merupakan gambar yang menyatakan bentuk potongan body kapal dibawah garis air yang memiliki tiga sudut pandang yaitu, body plan (secara melintang), sheer plan (secara memanjang) dan half breadth plan (dilihat dari atas).

Dalam membuat lines plan dibutuhkan metode untuk mengerjakannya. Dalam pengerjaan tugas akhir ini, menggunakan *sample design*. Sample desain disini yaitu menggunakan contoh kapal yang sudah ada kemudian mengubah parameter sesuai yang diinginkan. Seperti Panjang, Lebar, Sarat, Tinggi, Cb, Lcb dan lain-lain.

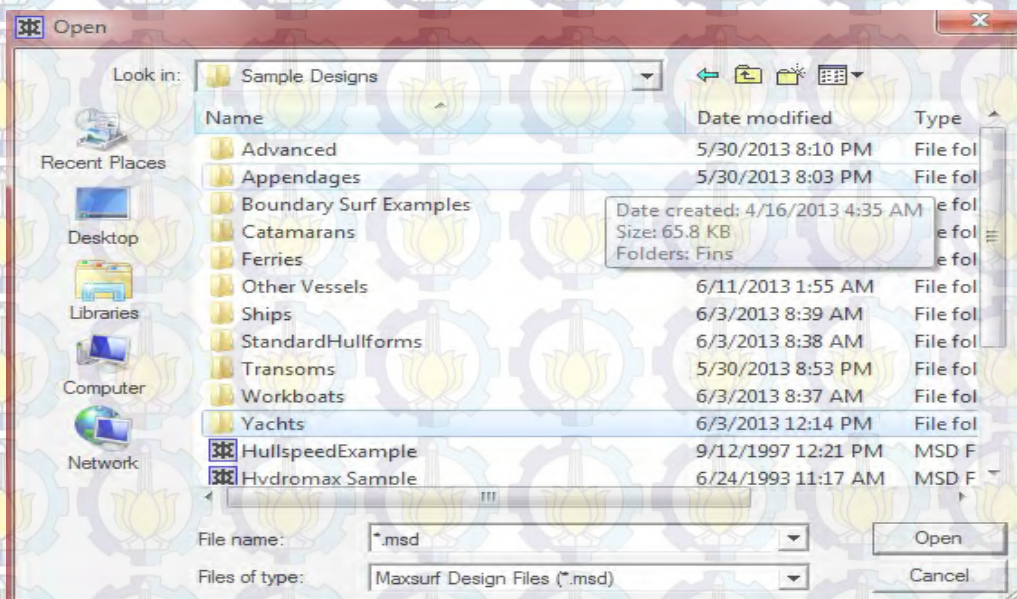
Dalam pembuatan lines plan dengan *sample design*, menggunakan *software maxsurf*. Adapun langkah-langkah pengerjaannya sebagai berikut:

- Membuka *software maxsurf pro*



Gambar V.11 Tampilan awal *maxsurf*

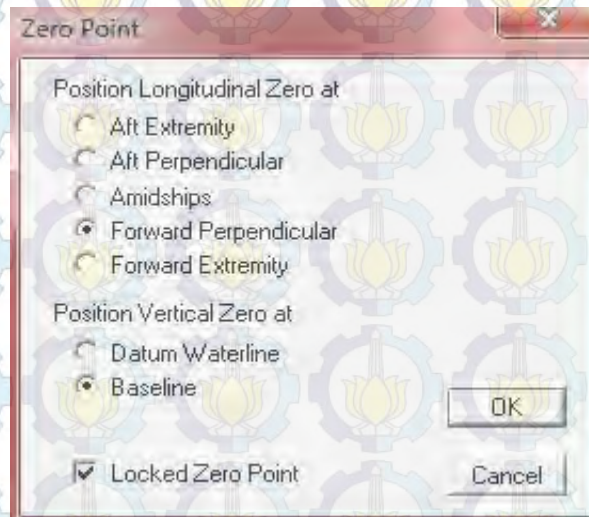
- Membuka sample desain sesuai kapal yang akan dibuat *file – open desain – maxsurf – sample desain - open*



Gambar V.12 Tampilan *Open desain*

- Menentukan *Zero Point*

Setelah menentukan *sample design* dan ukuran utama kapal, kemudian yang harus dilakukan adalah menentukan *zero point*, pada tugas akhir ini *zero point* di ambil pada FP.



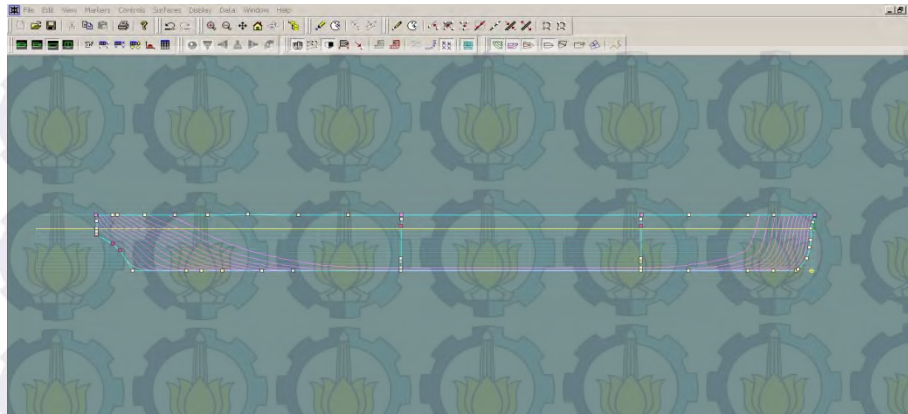
Gambar V.13 Menentukan Zero Point Pada Maxsurf

- Menentukan LPP

Setelah ukuran utama ditentukan maka langkah selanjutnya adalah menentukan Lpp. Lpp adalah jarak dari AP ke FP. Fp adalah garis tegak lupus yang memotong linggi haluan kapal dan sarat dan Ap adalah garis tegak lurus pada buritan kapal sebagai sumbu kemudi kapal. Oleh karena itu dalam penentuan Lpp data yang diperlukan adalah tinggi sarat dan jarak Lpp.

- Penentuan Lines Plan Kapal (*Transform Dialog*)

Pada bagian transform dialog proses pembuatan Lines dengan memasukkan Cb, LCB, Displacement, LWL, B, T. Setelah dimasukan data input tersebut dengan menekan tombol search maka Lines akan langsung terbentuk. Kemudian dilakukan cek displacement dengan cara mencocokkan displacement pada maxsurf dan dari hasil perhitungan, apabila belum memenuhi maka kita dapat merubah desain dengan menggerakkan kontrol poin sampai *displacement* yang diinginkan dapat sesuai.



Gambar V.14 Tampilan Frame of reference

- Tabel *Hydrostatic*

Setelah Lines Plan selesai dibuat, kemudian dapat dilihat *hydrostatic* properties sebagai berikut :

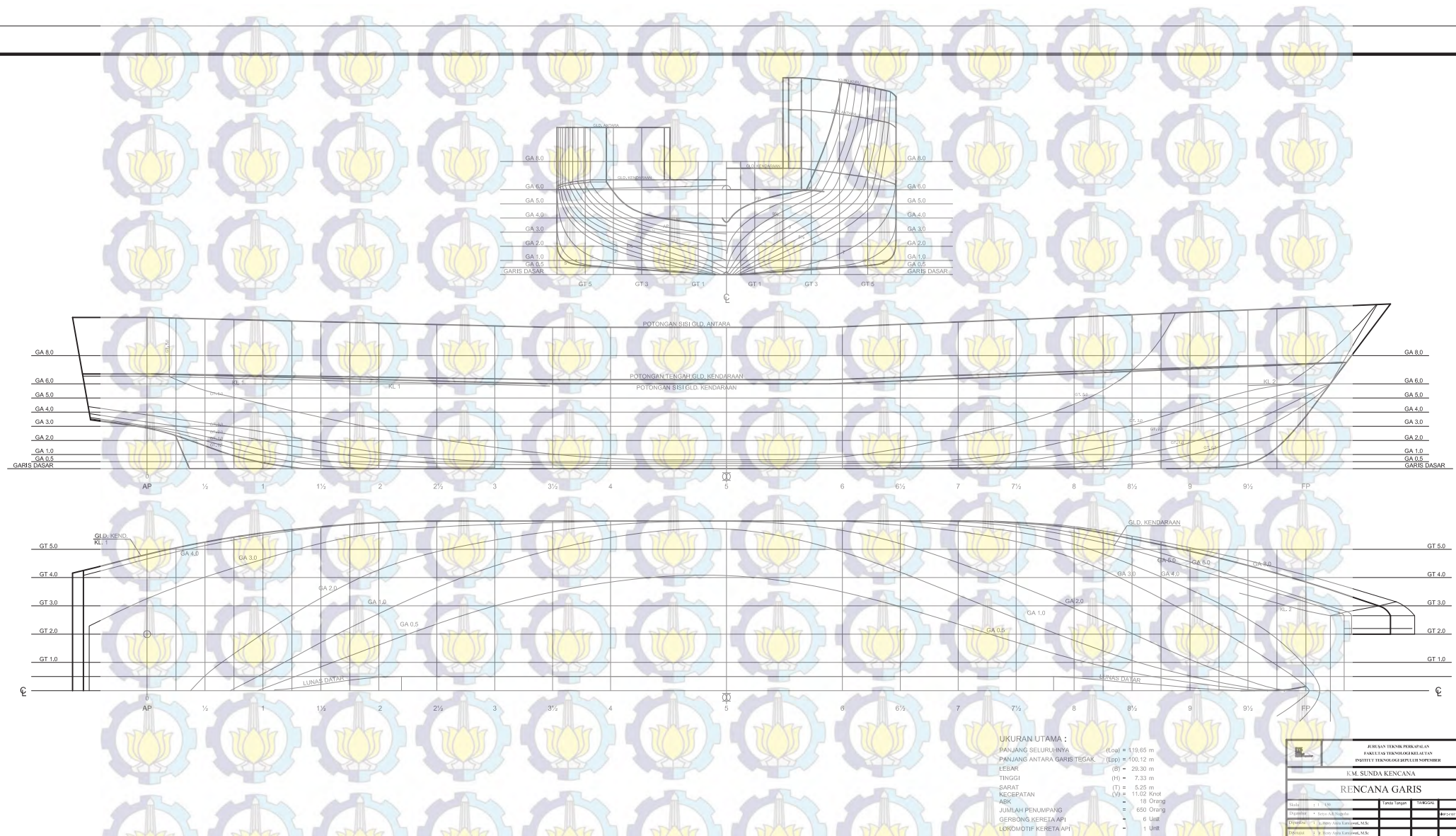
	Measurement	Value	Units
1	Displacement	44964,296	tonne
2	Volume	43867,606	m ³
3	Draft to Baseline	11,61	m
4	Immersed depth	11,61	m
5	Lwl	179,791	m
6	Beam wvl	25,319	m
7	VVSA	7492,516	m ²
8	Max cross sect area	291,011	m ²
9	Waterplane area	4122,706	m ²
10	Cp	0,838	
11	Cb	0,83	
12	Cm	0,99	
13	Cwvp	0,906	
14	LCB from zero pt	-84,201	m
15	LCF from zero pt	-87,961	m
16	KB	6,037	m
17	KG	0	m
18	BMT	4,688	m
19	BMI	211,575	m
20	GMT	10,725	m
21	GMI	217,612	m
22	KMT	10,725	m
23	KMI	217,612	m
24	Immersion (TPC)	42,258	tonne/cm
25	MTC	551,258	tonne.m
26	RM at 1deg = Gmt.Dis	8415,952	tonne.m
27	Precision	Medium	50 stations

Density: 1,025 tonne/m³ VCG: 0 m Recalculate Close

Gambar V.15 Tabel Hydrostatic

- Menentukan Pembagian *Station*, *Buttock* dan *Water line*

Setelah Lines terbentuk dan semua ukuran telah memenuhi maka langkah berikutnya adalah menentukan pembagian *station*, *buttock* dan *water line*. Pembagian *station*, *buttock* dan *water line* tersebut dibagi sesuai dengan perencanaan.



V.19. Pembuatan Rencana Umum

Rencana Umum / *General Arrangement* pada Tugas Akhir ini dibuat dengan menggunakan software Autocad. Pembuatan Rencana Umum dibuat berdasarkan Rencana Garis yang telah dibuat sebelumnya. Dari Rencana Garis tersebut di ambil *layout waterline* plan pada geladak utama, *bottom*, *tweendeck*, *forecastle* dan semua yang dibutuhkan. Untuk tampak samping diambil layout dari sheerplan pada *center line*. Dan pada tampak depan di ambil *layout* dari *body* plan pada daerah *parallel middle body*. Kemudian struktur bangunan atas dibuat dengan menggunakan data dari perhitungan.

Rencana Umum diartikan sebagai perencanaan ruangan yang ruangan yang dibutuhkan sesuai dengan fungsi dan perlengkapannya. Ruangan-ruangan tersebut misalnya : Ruang muat, ruang akomodasi, ruang mesin, dll. Disamping itu, juga meliputi perencanaan penempatan lokasi ruangan beserta aksesnya. Menurut "*Ship Design and Construction*", karakteristik rencana umum dibagi menjadi 4 bagian antara lain :

- a. Penentuan lokasi ruang utama
- b. Penentuan batas-batas ruangan
- c. Penentuan dan pemilihan perlengkapan yang tepat
- d. Penentuan akses (jalan atau lintasan) yang cukup

Langkah pertama dalam menyelesaikan permasalahan rencana umum adalah menempatkan ruangan-ruangan utama beserta batas-batasnya terhadap lambung kapal dan bangunan atas. Adapun ruangan utama dimaksud adalah :

- a. Ruang Muat
- b. Kamar mesin
- c. Ruangan untuk crew dan penumpang
- d. Tangki-tangki (bahan bakar, ballast, air tawar, dll)
- e. Ruangan-ruangan lainnya

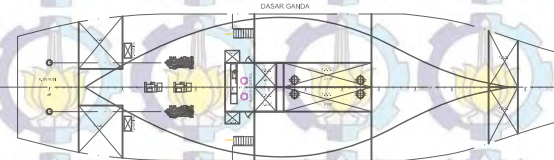
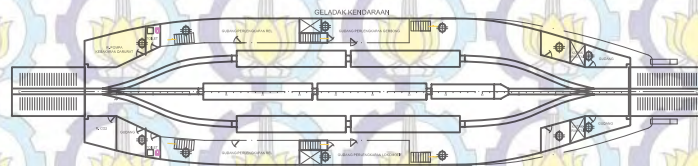
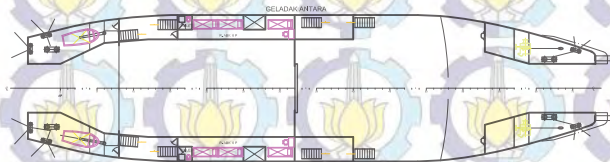
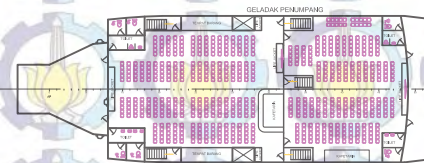
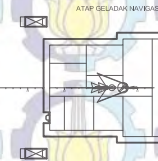
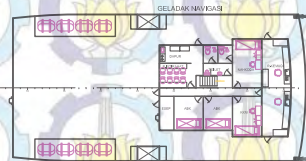
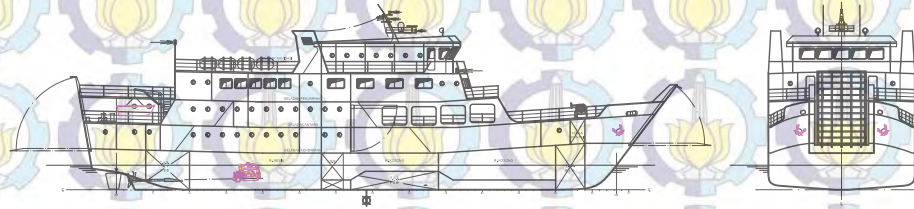
Pada saat yang bersamaan juga ditentukan kebutuhan lain yang harus diutamakan seperti:

- a. Sekat kedap masing-masing ruangan
- b. Stabilitas yang cukup
- c. Struktur / konstruksi

d. Penyediaan akses yang cukup

Rencana Umum / *General Arrangement* dapat didefinisikan sebagai perencanaan ruangan yang dibutuhkan sesuai dengan fungsi dan perlengkapannya. Ruangan-ruangan tersebut misalnya : Ruang muat, ruang akomodasi, ruang mesin, dll. Disamping itu, juga meliputi perencanaan penempatan lokasi ruangan beserta aksesnya.

Rencana umum dibuat berdasarkan lines plan yang telah dibuat sebelumnya. Dengan lines plan secara garis besar bentuk badan kapal akan terlihat sehingga memudahkan dalam merencanakan serta menentukan pembagian ruangan sesuai dengan fungsinya masing-masing.

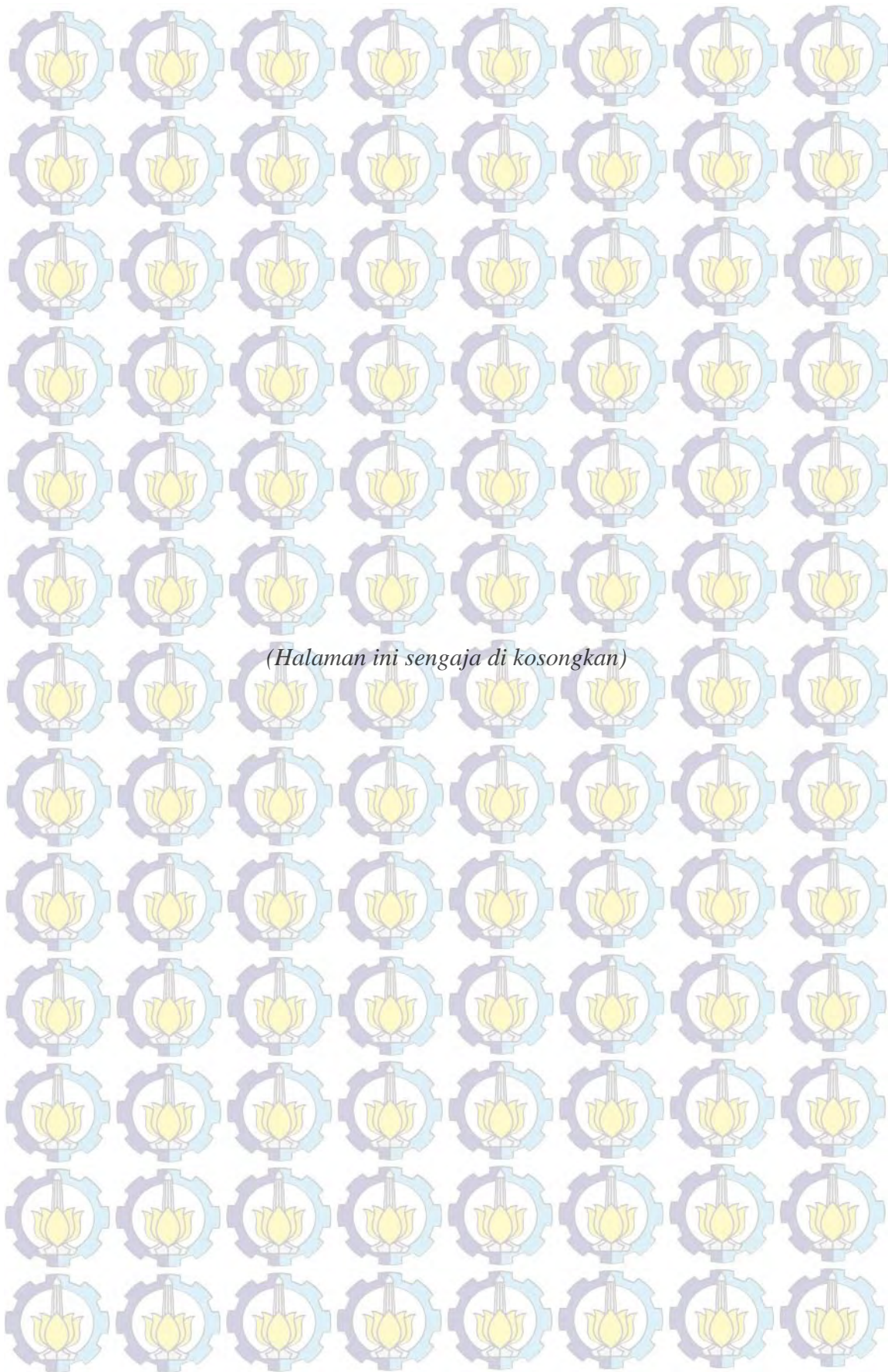


UKURAN UTAMA
 PANJANG SELURUHNYA (LOA) : 110,05 m
 PANJANG ANTARA GABUNGAN (LPP) : 110,05 m
 LEBAR (B) : 20,30 m
 TINGGI (T) : 7,20 m
 BARAT (T) : 5,25 m
 KECEPATAN (v) : 13,02 KNOT

ABK : 110 orang
 JUMLAH PERJANJANG : 100 orang

GENSER/REKETA API : 2 Unit
 LOKOMOTIF/REKETA API : 1 Unit

GENERAL ARRANGEMENT				
NO. 1	2	3	4	5
6	7	8	9	10
11	12	13	14	15
16	17	18	19	20
21	22	23	24	25
26	27	28	29	30
31	32	33	34	35
36	37	38	39	40
41	42	43	44	45
46	47	48	49	50
51	52	53	54	55
56	57	58	59	60
61	62	63	64	65
66	67	68	69	70
71	72	73	74	75
76	77	78	79	80
81	82	83	84	85
86	87	88	89	90
91	92	93	94	95
96	97	98	99	100



(Halaman ini sengaja di kosongkan)

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

VI.1. Kesimpulan

Setelah mengerjakan Tugas Akhir tentang “Perancangan Kapal Penyeberangan Ferry Ro-Ro sebagai Fasilitas Pengangkut Kereta Api rute Jawa-Sumatera” dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil Desain awal yang bersumber dari Survey di PT. KAI Daerah Operasi VII Surabaya telah terlampir di halaman 36.
2. Ukuran Optimum yang didapat dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah :

a). Panjang (L)	:	100.12	m
b). Lebar (B)	:	29.30	m
c). Sarat air (T)	:	5.25	m
d). Tinggi (H)	:	7.33	m
3. Rencana Garis terlampir pada Subbab Rencana Garis pada hal 69.
4. Rencana Umum terlampir pada Subab Rencana Umum pada hal 72.
- 5). *Safety Plan* terlampir pada hal 74.
- 6).Biaya kapal minimum yang dapat dicapai dalam pembangunan adalah \$ \$17,656,797.44

VI.2. Saran

Dalam pengerjaan tugas akhir pasti memiliki kelebihan dan kekurangan. Dan kekurangan itu dapat dijadikan saran untuk dikembangkan menjadi penelitian yang baru. Mengingat masih banyaknya perhitungan yang dilakukan dengan pendekatan, maka untuk penyempurnaan disarankan untuk melakukan beberapa proses perencanaan lebih lanjut mengenai :

- Perancangan detail konstruksi badan kapal dan rumah geladak meliputi jenis konstruksi, bahan konstruksi dan gambar konstruksi.
- Perhitungan biaya produksi secara detail meliputi biaya pembangunan kapal secara akurat dengan adanya detail konstruksi kapal dan rencana produksi.

- Perancangan dan perhitungan detail propeler dan *stern tube* agar dapat menemukan ukuran propeler yang memiliki efisiensi tertinggi dan tidak terjadi kavitasi.
- Perancangan dan perhitungan sistem instalasi listrik agar dapat menemukan daya generator yang memenuhi ukuran sebenarnya.
- Perancangan sistem perpipaan agar dapat menentukan lokasi perpipaan dan pompa sehingga mudah diterapkan dan ditempatkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Lewis, E. V. (1988). *Principal Of Naval Architecture Volume 2*. Jersey: The Society of Naval Architects and Marine Engineers.
- Lloyd's Register. (2012). *International Convention on Tonnage Measurement of Ships*. London.
- Lloyd's Register. (2012). *Regulations for Determining Load Lines Chapter III*.
- Manning, G. C. (1956). *The Theory and Technique of Ship Design*. London: Chapman & Hall.
- Dokkum, K. V. (2003). *Ship Knowledge a Modern Encyclopedia*. Enkhuizen: Dokmar.
- Panunggal, P. E. *Handout Tugas Merancang Kapal 1*. Surabaya: Teknik Perkapalan.
- wikipedia. (2013, April 28). *Kapal Ro-Ro*. Retrieved agustus 15, 2013, from http://id.wikipedia.org/wiki/Kapal_Ro-Ro
- wikipedia. (2013, juli 30). *Kereta Api Indonesia*. Retrieved agustus 15, 2013, from http://id.wikipedia.org/wiki/Kereta_Api_Indonesia

The background of the page is a repeating pattern of lotus flowers inside gears. The lotus flowers are yellow with green outlines, and the gears are light blue with darker blue outlines. The pattern is arranged in a grid that covers the entire page.

LAMPIRAN



1. SPESIFIKASI UMUM

Bagian ini menjelaskan spesifikasi umum dari Kereta Kelas Ekonomi tanpa Fasilitas Penyandang Cacat dan Kereta Kelas Ekonomi dengan Fasilitas Penyandang Cacat dengan pendingin udara (K3-AC) yang terdiri dari ukuran utama, komponen utama, susunan utama, dan pabrik pembuat kereta.

1.1 Ukuran Utama

Lebar jalan rel.....	1.067 mm
Panjang badan kereta.....	20.000 mm
Panjang kereta maksimum termasuk alat perangkai.....	20.920 mm
Lebar badan kereta.....	2.990 mm
Tinggi atap dari kepala rel.....	3.700 mm
Jarak antara pusat <i>bogie</i>	14.000 mm
Jarak sumbu roda <i>bogie</i>	2.200 mm
Tinggi sumbu alat perangkai.....	775 ^{+10/-0} mm
Diameter roda baru.....	774 ^{+3/-0} mm
Tinggi lantai kereta dari kepala rel	1.000 mm
Berat kosong maksimum	37 ton
Kecepatan operasional maksimum	100 km/jam

1.2 Komponen Utama

Jenis <i>bogie</i>	: TB-398
Sistem pengereman	: Air Brake KNOOR KE1-P-12"
<i>Coupler</i>	: Automatic <i>Coupler</i>
Kursi	: Tetap (<i>Fixed Construction</i>)
Sistem kelistrikan	: 380 V, 3 fasa, 50 Hz

1.3 Susunan Utama

Susunan umum kereta penumpang kelas ekonomi tanpa fasilitas penyandang cacat dan kereta penumpang kelas ekonomi dengan fasilitas penyandang cacat terdiri dari ruang penumpang, ruang toilet, ruang antara pintu masuk - pintu penumpang - pintu penghubung (*bordes*).

1.4 Pabrik Pembuat

PT. Industri Kereta Api (Persero)

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Kendari pada hari Jum'at tanggal 01 Mei 1987 dan merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Putra pasangan Bapak Trijoko Susilo dan Ibu Rita Marya Dewi ini menempuh pendidikan mulai dari TK Bhayangkari 1992-1993, Sekolah Dasar Negeri Pucang I Sidoarjo 1994-2000, SMP Negeri 6 Sidoarjo 2001-2003, dan SMA Antartika Sidoarjo 2004-2006. Setelah menyelesaikan studi di jenjang SMA, penulis diterima di Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya melalui jalur PMDK-KEMITRAAN. Penulis mengambil program studi Rekayasa Perkapalan – Perancangan Kapal di Jurusan Teknik Perkapalan.